This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

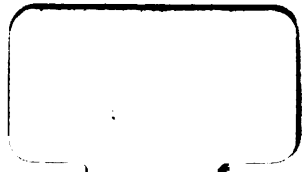
About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

GODFREY LOWELL CABOT SCIENCE LIBRARY
of the Harvard College Library

This book is
FRAGILE
and circulates only with permission.
Please handle with care
and consult a staff member
before photocopying.

Thanks for your help in preserving
Harvard's library collections.



CHEMINS DE FER

CONSTRUCTION ET VOIE

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES

BIBLIOTHÈQUE DU CONDUCTEUR DE TRAVAUX PUBLICS

CHEMINS DE FER

CONSTRUCTION ET VOIE

PAR

A. SIROT

CONDUCTEUR PRINCIPAL DES PONTS ET CHAUSSÉES

ANCIEN CHEF DE SECTION AUX CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT

PARIS

P. VICQ-DUNOD ET Cie, ÉDITEURS

LIBRAIRES DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES ET DES TÉLÉGRAPHES

49, Quai des Grands-Augustins, 49

1897

E 838.97.5

HARVARD COLLEGE
OCT 4 1897
LIBRARY.

Minot fund

JUN 30 1917
TRANSFERRED TO
HARVARD COLLEGE LIBRARY
18.2

BIBLIOTHÈQUE DU CONDUCTEUR DE TRAVAUX PUBLICS

PUBLIÉE SOUS LES AUSPICES

DE MESSIEURS LES MINISTRES DES TRAVAUX PUBLICS
DE L'AGRICULTURE
DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE
DU COMMERCE ET DE L'INDUSTRIE
DE L'INTÉRIEUR, DES COLONIES
DE LA JUSTICE

Comité de patronage

BEAUREGARD (docteur)	Secrétaire général de l'Association philotechnique.
BECHMANN	Ingénieur en chef de l'assainissement (Service municipal de la ville de Paris), Professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées.
BOREUX	Ingénieur en chef de la voie publique (Service municipal de la ville de Paris).
BOUQUET	Directeur du personnel et de l'enseignement technique au Ministère du Commerce.
BOUVARD	Directeur administratif des services d'architecture, des promenades et plantations de la ville de Paris.
BROUARDEL (le Prof^{r})	Doyen de la Faculté de médecine, Membre de l'Institut, Président de l'Association polytechnique.
COLSON	Maître des requêtes au Conseil d'État, Professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées.
COMTE (J.)	Ancien directeur des Bâtiments civils et des Palais nationaux.
DEBAUVE	Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Agent voyer en chef de l'Oise, auteur du *Manuel de l'Ingénieur des Ponts et Chaussées.*
DELECROIX	Avocat, Docteur en droit, Directeur de la *Revue de la Législation des Mines.*
DONIOL	Inspecteur général des Ponts et Chaussées.
BOUSQUET (du)	Ingénieur en chef du matériel et de la traction à la C^{ie} des Chemins de fer du Nord.
FLAMANT	Inspecteur général des Ponts et Chaussées de l'Algérie.
GAY	Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
GRILLOT	Président honoraire de la Société des Conducteurs, Contrôleurs et Commis des Ponts et Chaussées et des Mines.
GUILLAIN	Directeur honoraire des Routes, de la Navigation et des Mines.
HATON DE LA GOUPILLIÈRE	Membre de l'Institut, Inspecteur général des Mines, Directeur de l'Ecole nationale supérieure des Mines.

HENRY (E.)	Inspecteur général des Ponts et Chaussées.
HUET	Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, ancien Directeur administratif des Travaux de la ville de Paris.
HUMBLOT	Inspecteur général des Ponts et Chaussées Directeur du Service des Eaux de la ville de Paris.
JOUBERT	Ancien Président de la Société des Anciens Elèves des Ecoles nationales d'Arts et Métiers.
LAUSSEDAT (le Colonel)	Membre de l'Institut, Directeur du Conservatoire national des Arts et Métiers.
Me LE BERQUIER	Avocat à la Cour d'appel de Paris.
MARTIN (J.)	Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, Ancien professeur à l'École nationale des Ponts et Chaussées.
MARTINIE	Contrôleur général de l'Administration de l'Armée, Ancien président de la Société de Topographie de France.
METZGER	Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur des Chemins de fer de l'Etat.
MICHEL (J.)	Ingénieur en chef au Chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.
NICOLAS	Conseiller d'Etat, Directeur du Travail et de l'Industrie au Ministère du Commerce, de l'Industrie et des Postes et Télégraphes.
PHILIPPE	Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Directeur de l'Hydraulique agricole au Ministère de l'Agriculture.
PILLET	Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers.
Le **Président** de la Société des Ingénieurs civils de France.	
RÉSAL	Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Professeur a l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
ROUCHÉ	Professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers.
SANGUET	Président de la Société de Topographie parcellaire de France.
TAVERNIER (de)	Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Directeur du secteur électrique de la rive gauche.
TISSERAND	Conseiller d'Etat.
TRICOCHE (le Général)	Président de la Société de Topographie de France.

BIBLIOTHÈQUE DU CONDUCTEUR DE TRAVAUX PUBLICS

Comité de rédaction

SIÈGE : 46, QUAI DE L'HÔTEL-DE-VILLE

Bureau

PRÉSIDENT :

JOLIBOIS — Conducteur des Ponts et Chaussées, Président de la Société des Conducteurs, Contrôleurs et Commis des Ponts et Chaussées et des Mines, Membre des Sociétés des Ingénieurs civils de France, des Ingénieurs coloniaux, des anciens élèves des Ecoles d'Arts et Métiers, de Topographie de France, etc., Professeur à l'Association philotechnique.

VICE-PRÉSIDENTS :

CANAL — Conducteur des Ponts et Chaussées, Contrôleur Comptable des Chemins de fer (Orléans).

LAYE — Ingénieur des Arts et Manufactures (Cie du Chemin de fer du Nord).

VERDEAUX — Inspecteur de la voie (Cie du Chemin de fer d'Orléans), Membre de la Société des Ingénieurs civils de France.

VIDAL — Conducteur des Ponts et Chaussées (Contrôle des Chemins de fer du Midi).

SECRÉTAIRES :

DACREMONT — Conducteur des Ponts et Chaussées, Service municipa (Assainissement).

DEJUST — Conducteur municipal (Service des Eaux), Ingénieur des Arts et Manufactures.

DIÉBOLD — Conducteur des Ponts et Chaussées, Service Municipal (Assainissement).

HABY — Rédacteur au Ministère des Travaux Publics, Professeur à l'Association philotechnique.

Membres du Comité :

ALLEGRET — Conducteur des Ponts et Chaussées, Contrôleur Comptable des Chemins de fer (Ouest).

BONNET — Conducteur des Ponts et Chaussées, Service Municipal (Eclairage), Professeur à la Société de Topographie de France.

BOSRAMIER	Conducteur principal des Ponts et Chaussées (Contrôle du Chemin de fer d'Orléans).
DARIÈS	Conducteur Municipal (Service des Eaux), Licencié ès Sciences, Professeur à l'Association philotechnique.
DECRESSAIN	Contrôleur principal des Mines, Professeur à l'École d'Horlogerie.
EYROLLES	Conducteur des Ponts et Chaussées, Professeur de Mathématiques appliquées, Membre de la Société des Ingénieurs civils de France.
HALLOUIN	Inspecteur particulier de l'Exploitation commerciale des Chemins de fer.
MALETTE (G.)	Conducteur des Ponts et Chaussées (Service ordinaire et vicinal de la Seine).
A.-H. PILLIET (Dr)	Ancien interne, Lauréat des Hôpitaux, Chef du Laboratoire de Clinique chirurgicale de La Charité.
PRADÈS	Rédacteur au Ministère de l'Agriculture, Professeur à l'Association philotechnique.
REBOUL	Contrôleur des Mines.
REVELLIN	Contrôleur des Mines, Ingénieur Professeur de machines et chaudières à vapeur.
ROTTÉE	Conducteur principal des Ponts et Chaussées (Service ordinaire et vicinal).
SIMONET	Conducteur des Ponts et Chaussées, Service municipal (Voie Publique).
SAINT-PAUL	Conducteur Municipal (Service de l'Eclairage), Secrétaire adjoint de la Société de Topographie de France, Professeur à l'Association polytechnique.
WALLOIS	Conducteur principal des Ponts et Chaussées, Service municipal (Voie publique).

AVANT-PROPOS

La question des chemins de fer a fait, depuis trente ans, d'immenses progrès et a été étudiée à tous les points de vue par des hommes éminents.

MM. Sévène, Couche, Humbert, Moreau et Bricka, notamment, ont à peu près tout dit sur cette matière qu'ils ont traitée très savamment dans des ouvrages fort appréciés des hommes compétents, mais qui, peut-être pour cette raison, et aussi à cause de leur prix, ne sont pas toujours à la portée de tous.

Nous n'avons pas, bien entendu, après des ingénieurs aussi distingués, la prétention de composer un ouvrage absolument original sur cette question. Mais, toutefois, ayant pu mettre à profit leurs principes et les préceptes qu'ils ont enseignés, et cédant aux instances d'un groupe de camarades, nous avons pensé être utile à ceux qui n'ont pas la bonne fortune d'avoir ces ouvrages à leur disposition en faisant un exposé sommaire, et surtout pratique, des études et de la construction des chemins de fer.

Nous avons complété cet exposé à l'aide des connaissances et de l'expérience acquises dans notre carrière passée, en grande partie, aux services de la construction des chemins de fer, à l'Etat et à la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.

La plupart des exemples choisis par nous proviennent des notes recueillies dans ces services ; mais il nous manquait nécessairement pour les autres réseaux des documents nombreux que nous avons dû demander aux divers ingénieurs de la construction de la voie et du matériel.

Nous avons partout trouvé, auprès de ces Messieurs et de leurs bureaux, la plus parfaite complaisance et le plus grand empressement à nous fournir les renseignements dont nous avons eu besoin.

Nous nous plaisons à leur adresser ici l'expression de nos plus chaleureux remercîments.

Paris, le 15 avril 1897.

A. SIROT.

CHEMINS DE FER

CONSTRUCTION ET VOIE

NOTIONS GÉNÉRALES

Définition de la voie ferrée. — On désigne, en général, sous le nom de chemins de fer, des voies de communication munies de bandes en fer ou en acier, appelées *rails*, fixées au sol et sur lesquelles circulent des trains ou véhicules remorqués par une machine locomotive. L'interposition de ces rails entre le sol et le véhicule a pour effet, en diminuant le frottement, de faciliter le roulement et, par suite, de diminuer l'effort à exercer par le moteur.

Déjà dans les temps anciens, et au fur et à mesure que l'homme sentit le besoin d'améliorer ses moyens de communication, pour faciliter le roulage sur les routes, on avait imaginé de faire porter les roues des véhicules sur deux files de pierres dures posées à plat et bien dressées, les chevaux marchant dans l'espace libre entre ces bandes de pierres. Plus tard, voulant encore augmenter la résistance du chemin au poids des chargements, on a cherché à remplacer ces bandes pavées par des plaques ou bandes de fer ou de fonte. Telle a été l'origine des chemins de fer, appelés d'abord en Angleterre *railways* (de *way*, chemin, et *rail*, bande).

Éléments de la voie ferrée. — Le chemin de fer se compose donc de deux éléments distincts : la voie ferrée, ou railway, et le moteur animal ou mécanique. Ces deux éléments ont dû exister et fonctionner longtemps séparément. On trouve, en effet, de ces voies de fer, à traction de chevaux, dans les exploitations industrielles ou minières, dans

les houillères, comme nous les voyons actuellement en usage dans les grands travaux de terrassements et aussi dans certaines villes où, sous le nom de *tramways*, elles servent au transport des voyageurs. On a peu d'exemples de l'emploi séparé de la locomotive sans rails, si ce n'est pour les quelques cas de locomotives routières servant à remorquer des rouleaux compresseurs, aujourd'hui très répandus pour les cylindrages des chaussées macadamisées.

Les premiers chemins de fer de ce genre ont fait usage de rails à bandes plates, garnis de rebords en saillie pour maintenir les roues (*fig.* 1), ce qui permettait d'employer des véhicules avec des roues ordinaires. Mais ces sortes de voies

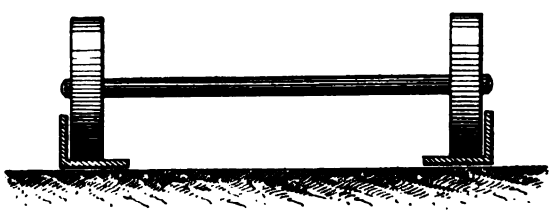


Fig. 1.

devaient avoir, par la forme des rails, entre autres inconvénients, celui d'arrêter et faciliter les amoncellements de détritus, immondices et boues provenant des chaussées, et aussi de se prêter mal aux croisements des trains et aux traversées des routes et chemins où ce mode de transport était usité. Ce n'est que plus tard qu'on en vint à l'emploi des rails noyés dans le sol et de forme à peu près semblable à ceux employés aujourd'hui. La réunion du véhicule et du moteur mécanique fonctionnant sur rails constitue le chemin de fer.

Premiers essais. — Les premiers chemins de fer à petite vitesse ont été établis en Angleterre pour le service des mines et des usines du pays de Galles et dans le Northumberland. La première locomotive fut construite en 1814 par un ouvrier mineur, Georges Stephenson, qui l'employa pour le service

des houillères de Killingworth, dont il devint l'ingénieur. Après plusieurs essais et à l'occasion du concours ouvert par la Société du chemin de fer de Liverpool à Manchester, ce fut lui qui y apporta sa fameuse machine *Fusée* qui réalisait alors, et au delà, les conditions imposées par le concours et qui fut la première locomotive véritablement digne de ce nom et restée, depuis, le type des locomotives usitées encore actuellement. C'est à cet ouvrier que revient l'honneur d'avoir construit le premier chemin de fer à grande vitesse, non seulement de l'Angleterre, mais du monde entier.

L'esprit public anglais, plus particulièrement tendu que le nôtre vers le progrès industriel, ne tarda pas à prévoir le développement que pourrait donner au commerce et aux relations sociales ce nouveau mode de transport. Des essais furent tentés en Europe et en Amérique, sans grand succès, pendant un certain temps qui constitua pour ainsi dire une période de tâtonnements. En 1834, après l'ouverture de la ligne de Liverpool à Manchester, et la pose de la première pierre du chemin de Londres à Birmingham, M. Peel, ministre anglais, terminait un discours au meeting de Tamworth par ces paroles : « Hâtons-nous, Messieurs, hâtons-« nous; il est indispensable d'établir d'un bout à l'autre du « royaume des communications à la vapeur, si la Grande-Bre-« tagne veut maintenir dans le monde son rang et sa supé-« riorité. »

La Belgique a suivi de près l'Angleterre dans l'établissement de son réseau de chemins de fer, à peu près terminé aujourd'hui, et dont la création fut décrétée par une loi de 1834.

L'énormité des dépenses à faire, qui dépassaient les forces isolées de l'État, avait fait concevoir en France des craintes au sujet de l'éventualité des avantages à retirer de ces entreprises, et abandonner l'exécution des travaux à des sociétés ou intérêts privés, toutes choses et circonstances favorisant le monopole que devaient s'attribuer les grandes compagnies. Aussi, par suite de ces hésitations, la France n'a suivi que d'assez loin le progrès social et industriel accompli en Angleterre et en Belgique, et ne s'est engagée dans ce mouvement qu'avec une certaine réserve. Ces craintes

étaient d'ailleurs partagées par les hommes politiques d'alors, et M. Thiers, en 1834, déclarait à la tribune *qu'il se tiendrait pour son compte fort heureux si l'on exécutait en France 20 kilomètres de chemins de fer en un an.* Ce même ministre, ayant fait quelque temps après une visite de la ligne de Liverpool à Manchester, soutenait que les chemins de fer n'étaient bons qu'à servir de jouets aux curieux d'une capitale ou de moyens de transport pour les voyageurs de commerce dans quelques cas exceptionnels [1].

Loi de 1842. — Ce fut en 1842 seulement que le Parlement vota une loi qui, bien qu'imparfaite encore, n'en fut pas moins pour la France le point de départ d'une ère nouvelle de prospérité pour la richesse du pays.

Cette loi décida la construction immédiate de sept grandes lignes partant de Paris (qui ont donné naissance à la plupart de nos grands réseaux) et se dirigeant sur Lille, le Havre, Nantes et Bordeaux, Bourges, Lyon-Marseille, Strasbourg, et d'une ligne transversale joignant de Bordeaux à Cette l'Océan à la Méditerranée. Elle décida en même temps que ces diverses lignes seraient concédées soit à l'industrie privée, soit à des compagnies, avec le concours de l'État, et que le Gouvernement prendrait à sa charge, à titre de subvention, la construction de la plate-forme (infrastructure), ainsi que les bâtiments des stations. Cette disposition, qui laissait l'État maître des tracés qu'il s'agissait de créer, et laissait à la Compagnie la superstructure, c'est-à-dire la voie, quelquefois les bâtiments et l'exploitation, caractérise la loi de 1842.

Au point de vue législatif, on divise les chemins de fer en trois catégories :

Chemins de fer d'intérêt général ;

Chemins de fer d'intérêt local ou départementaux ;

Tramways.

Nous ne nous arrêterons pas davantage sur les détails de cette classification qui sortent du cadre de la construction et sont traités dans la *Législation des Chemins de fer.*

Nous ne nous occuperons ici que de la construction des

[1] PERDONNET, tome I.

chemins de fer d'intérêt général, autrement dits à voie normale, tels qu'ils sont établis par les diverses Compagnies qui exploitent les réseaux français.

Parmi les constructeurs et ingénieurs français ayant attaché leurs noms aux nombreux essais tentés dans les premiers temps pour la réussite de ces entreprises, nous citerons les frères Seguin (constructeurs qui inventèrent la chaudière tubulaire et aussi l'échappement de la vapeur par la cheminée, afin d'en augmenter le tirage), Stephen, Mony, Lamé, Clapeyron et Flachat, ingénieurs du chemin de fer de Paris à Saint-Germain; Talabot et Didion, créateurs de la ligne d'Alais à Beaucaire; le banquier James Rothschild et Bineau, ingénieur de la première Compagnie de Rouen ; l'ingénieur Julien et François Bartholoni, le président de la Compagnie d'Orléans.

Développement en France. — Depuis 1850, les chemins de fer se sont développés avec une grande activité, non seulement en France et en Europe, mais dans l'univers entier. On peut dire que les ingénieurs anglais ont été les initiateurs des chemins de fer, mais aussi que les ingénieurs français en ont été les vulgarisateurs, grâce, il faut le reconnaître, à la facilité avec laquelle le Gouvernement les a toujours mis à la disposition de l'industrie privée, des Compagnies et des Gouvernements étrangers pour l'établissement de ces utiles moyens de communication.

Les effets de ce développement, véritable révolution économique et sociale, n'ont pas tardé à se faire sentir, et les conséquences en ont été considérables: abaissement des prix de transports des voyageurs et des marchandises de toutes sortes, accroissement de la vitesse de ces transports, augmentation du tonnage des marchandises et du nombre des voyageurs transportés, à tel point que toute comparaison est impossible entre la circulation et le trafic actuels et ceux existant avant l'établissement des chemins de fer. On peut seulement en considérer l'importance en pensant à ce que deviendraient le mouvement de la vie et les relations sociales, si ces moyens actuels de communication venaient à disparaître subitement.

Situation au 31 décembre 1895. — Voici, d'après la statistique, la situation des chemins de fer français au 31 décembre 1895, y compris le réseau d'État :

	kilomètres
En exploitation.....	36.564
En construction.....	2.535
A construire.....	1.129
Non déclarés d'utilité publique...	3.085
Ensemble	43.313

D'autre part, les chemins de fer d'intérêt local et ceux des petites Compagnies industrielles, chemins de fer départementaux, etc., forment une longueur d'environ 8.000 kilomètres, non compris les tramways.

Efforts de traction sur une route et sur un chemin de fer. — Le chemin de fer se compose, ainsi qu'il a été dit plus haut, du railway, qui a pour effet de diminuer l'effort de traction, nécessaire sur une route ordinaire, et de la locomotive qui est destinée à diminuer le prix de cet effort.

Sur route, l'effort de traction varie avec le diamètre des roues des véhicules; on admet généralement, avec les dimensions en usage, qu'il est en moyenne, pour une tonne, de 0,03, soit de 30 à 40 kilogrammes pour des vitesses de 1 mètre à 3 mètres par seconde ; pour des vitesses plus grandes, cet effort s'accroît sensiblement.

Sur un chemin de fer en ligne droite horizontale, autrement dit en palier, l'effort de traction pour traîner une tonne est seulement de 0,003 (soit de 3 à 4 kilogrammes), et cela à une vitesse quatre fois plus grande (8 mètres par seconde), soit $28^{km},8$.

C'est ce qui fait ressortir l'utilité de l'interposition des rails et l'avantage de leur emploi au point de vue de l'effort à exercer pour produire le mouvement du véhicule.

Si on désigne par P la charge brute remorquée, l'effort de traction sur un alignement droit et en palier est représenté par les formules ;

Sur route :

$$P \times 0{,}03,$$

sur chemin de fer :

$$P \times 0{,}003.$$

Influence des rampes. — Quand on gravit une rampe, l'effort nécessaire pour vaincre le frottement des roues, ou frottement de roulement, est encore augmenté de la composante de la gravité, qui reste la même, selon que la traction se fait sur une route ou sur un chemin de fer.

Supposons un alignement faisant avec l'horizontale un angle α et une charge P, appliquée au point B (*fig.* 2) ; la composante de la pesanteur est représentée par DB ; le rapport

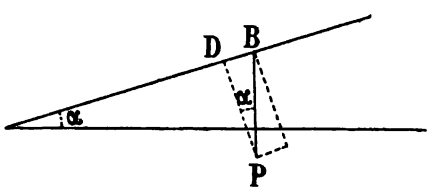


FIG. 2.

de cette composante au poids BP est égal au sinus de l'angle α, formé par le plan du tracé avec la projection horizontale. Comme, en général, il s'agit d'angles très petits, on peut remplacer sans inconvénient le sinus par la tangente. L'effort additionnel est donc P sin α ou P tang α.

L'effort de traction devient sur route :

$$P(0{,}03 + \text{tang}\,\alpha),$$

sur chemin de fer :

$$P(0{,}003 + \text{tang}\,\alpha),$$

mais tang α n'est autre chose que la déclivité ; c'est, pour mieux dire, la montée par mètre de parcours horizontal ; on la désigne ordinairement par i.

L'effort de traction est donc, sur route :

$$P(0{,}03 + i),$$

sur chemin de fer :

$$P(0{,}003 + i).$$

L'examen de ces deux expressions fait ressortir immédiatement l'influence énorme des rampes sur les chemins de fer.

Ainsi une rampe de 0,003 augmente l'effort de traction sur route de 1/10, et le double sur un chemin de fer; en effet :

$$P(0{,}03 + i)$$

devient :

$$P(0{,}03 + 0{,}003)$$

ou

$$P(0{,}033);$$

et

$$P(0{,}003 + i)$$

devient :

$$P(0{,}003 + 0{,}003)$$

ou

$$P(0{,}006).$$

Si la rampe atteint 0,01, l'effort de traction augmente de 1/3 sur route, tandis qu'il est plus que quadruplé sur le chemin de fer : on a :

$$P(0{,}03 + 0{,}01)$$

ou

$$P(0{,}04),$$

et

$$P(0{,}003 + 0{,}01)$$

ou

$$P(0{,}013).$$

On voit par ce qui précède que, malgré la faiblesse du coefficient de roulement, les rampes sont excessivement sen-

sibles sur les chemins de fer et qu'on ne doit en faire usage que dans certaines limites.

Une autre considération en faveur des faibles rampes tient à la façon dont se fait la transmission du mouvement de la locomotive. L'action de la vapeur agit directement sur chacune des faces de deux pistons glissant, à frottement doux, chacun dans un cylindre et animés d'un mouvement alternatif et rectiligne qui, par l'intermédiaire d'une bielle et d'une manivelle, est transformé en un mouvement de rotation transmis aux roues motrices par leur essieu dont elles sont solidaires. Comme on le voit, la locomotive ne produit pas par elle-même un mouvement d'avancement, mais imprime seulement un mouvement de rotation à une paire de roues qui, en reposant sur le rail, les fait ainsi avancer avec le train remorqué par la locomotive. Mais, pour que ce mouvement en avant se produise, il faut que l'effort tangentiel à vaincre par les roues motrices pour avancer soit moindre que l'effort qu'elles auraient à surmonter pour tourner sur place. Ce dernier effort, dû à la résistance du rail au glissement, est appelé *frottement de glissement*, ou *adhérence*, dans la langue ordinaire des chemins de fer. Il résulte que, pour qu'il y ait avancement de la locomotive sur les rails, il est indispensable que l'effort à vaincre par les roues soit inférieur à l'adhérence, sans quoi les roues tourneraient sur place; on dit alors que la locomotive *patine*. On remédie à cet inconvénient qui se produit quelquefois dans les souterrains, dans les tranchées humides ou en temps de verglas, en répandant du sable sur les rails, en avant des roues motrices, ou plus ordinairement en y lançant un jet de vapeur ou d'eau qui lave les rails.

Désignons par f le coefficient d'adhérence, c'est-à-dire le rapport de la force nécessaire pour vaincre le frottement au poids du chargement qui le produit; par P, le poids total des wagons à remorquer par la locomotive; par p, celui de la locomotive ($P+p$ sera le poids du train); et par ω, la portion du poids de la machine supportée par les roues motrices.

ωf représente le frottement de glissement que les rails opposent aux roues motrices, ou le plus grand effort tangentiel que la machine puisse utilement exercer sur les roues.

(S'il est dépassé, le frottement du rail est vaincu, et les roues patinent.)

L'effort de traction étant exprimé par P $(0{,}003 + i)$, on doit avoir la relation $P + p\ (0{,}003 + i) < \omega f$, condition sans laquelle le mouvement en avant de la locomotive se traduirait par un mouvement sur place des roues motrices.

Appliquons ces données à un exemple, et supposons un train du poids de 200 tonnes, remorqué par une locomotive à roues libres, à trois essieux pesant 39 tonnes, dont 1/3 seulement porte sur les roues motrices. Quelle sera la rampe limite ?

$$P = 200, \qquad p = 89, \qquad \omega = 13.$$

Le coefficient d'adhérence f est variable : selon l'état d'atmosphère, il est plus grand lorsque le rail est très sec ou complètement mouillé ; il diminue avec l'humidité ou les brouillards. On l'évalue ordinairement à 1/6 ou 1/7, soit 0,15. La condition d'inégalité ci-dessus devient :

$$239\ (0{,}003 + i) < 13 \times 0{,}15$$

ou

$$0{,}003 + i < \frac{1{,}95}{239} < 0{,}0082,$$

d'où

$$i = 0{,}0082 - 0{,}003 \text{ ou } 0{,}0052.$$

Telle est la limite de rampe qui ne saurait être atteinte ni dépassée, sinon la pression de la locomotive ferait tourner les roues motrices sans les faire avancer, le point d'appui leur manquant : il n'y a pas d'action efficace où il n'y a pas de réaction.

Les développements qui précèdent sortent un peu du cadre de la construction et trouveront leur place au titre *Exploitation et Traction ;* mais nous avons cru devoir en parler, au moins sommairement, pour mettre en évidence les relations qui doivent exister sur un chemin de fer entre la force du moteur, le poids du train remorqué et les conditions du

tracé, en palier ou en rampe, et par conséquent la nature et la force du matériel à utiliser.

Influence des courbes. — Des raisons de même importance commandent l'adoption de courbes à grand rayon; cela résulte des dispositions de construction du matériel. On sait, en effet, que le mouvement étant transmis aux roues motrices par l'intermédiaire des essieux qui les unit, il faut nécessairement que ces deux parties soient solidaires, car autrement le mouvement en avant produit par la rotation de ces roues n'aurait plus lieu. Cette nécessité n'est pas indispensable pour les wagons dont le mouvement en avant résulte de la traction exercée sur ces véhicules par la locomotive, comme cela a lieu, du reste, pour les voitures ordinaires. Néanmoins, pour des raisons de solidité et de sécurité, les roues des wagons sont solidaires de leur essieu d'un bout à l'autre du train.

Il résulte de cette disposition que dans une courbe les deux roues d'un même essieu, ayant même diamètre, doivent néanmoins effectuer des parcours différents, le rail de la courbe extérieure ayant un développement légèrement plus grand que celui de la courbe intérieure. Cette différence de parcours ne peut être rachetée que par un glissement transversal des roues sur les rails, — qui est d'autant plus sensible que la courbure est plus prononcée. De là un surcroît d'effort de traction, une usure plus rapide des rails et des bandages des roues et aussi un effort de torsion qui occasionne souvent des ruptures d'essieux.

D'autre part, une autre disposition du matériel, qui s'oppose à l'adoption d'une forte courbure de la voie, résulte du parallélisme des essieux d'une même voiture qui forment ainsi avec le véhicule un châssis rigide ayant la forme d'un parallélogramme. On comprend dès lors que sur un alignement droit cette disposition n'offre aucun inconvénient; mais, si on entre dans une courbe, la position normale qui conviendrait aux essieux serait déterminée par les lignes AA′ et BB′, convergentes par rapport au centre de la courbe (*fig.* 3). Il faut donc que le parallélogramme déterminé par le plan des roues et des essieux puisse s'inscrire dans le plan de courbure des deux files de rails, sans trop de frottement, pour

augmenter l'effort de traction et sans risquer de sortir des rails d'un côté et de tomber dans la voie de l'autre. Pour cela il est nécessaire que la voie ait un certain jeu, c'est-à-dire une largeur un peu plus grande que la largeur entre l'axe des roues d'un même essieu; en d'autres termes, il faut que la flèche de la courbe dont la ligne AB, joignant deux roues

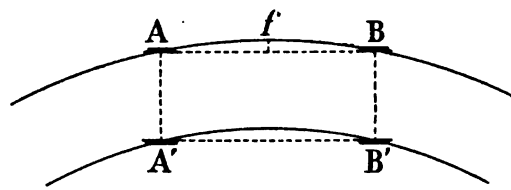


Fig. 3.

d'un même côté, est la corde, soit inférieure au jeu ou revanche de la voie sur la largeur normale entre les bandages des roues.

C'est ce jeu qu'on appelle surlargeur ou surécartement.

Ainsi que nous le verrons à la pose des voies, on admet, selon le type des chemins de fer, trois largeurs usuelles: la voie de $1^m,45$, qui est la voie normale, la voie de 1 mètre et la voie de $0^m,60$, dites voies étroites. A l'une comme à l'autre, on donne habituellement lors de la pose un surécartement ou jeu de $0^m,01$.

Comme on le voit, deux raisons importantes, provenant des dispositions d'établissement du matériel des chemins de fer, commandent des courbes de grand rayon : la solidarité des roues et de leurs essieux et le parallélisme de ceux-ci.

Donc, en résumé, d'une part de faibles rampes, et de l'autre de grands rayons de courbes, constituent les conditions auxquelles doit satisfaire un tracé de chemin de fer. Ces conditions donnent évidemment lieu à des ouvrages exceptionnels et à des dépenses énormes comparativement aux autres voies de communication n'offrant pas ces sujétions.

Limites des rampes et des courbes. — Dans la construction des premières grandes lignes formant les principales

artères du réseau français et sur lesquelles circulent des trains de voyageurs à grandes vitesses et à grands parcours. on a adopté, comme maximum, des rampes de $0^m,005$ et des courbes de 800 à 1.000 mètres de rayon; ces limites correspondent à d'excellentes conditions d'exploitation. Mais au fur et à mesure que le réseau s'est complété par la construction de lignes secondaires ou de moindre importance, on a dû envisager la question d'économie des frais d'établissement; les limites de rampes et de courbes ont été abaissées, grâce aussi aux modifications apportées dans le matériel et les moyens d'exploitation, mais peut-être aussi au détriment de l'usure de ce matériel. Sur des lignes secondaires établies depuis plusieurs années on est descendu à des rampes de $0^m,015$ à $0^m,020$ et même $0^m,025$ et $0^m,030$ (lignes des Cévennes et celle de Grenoble à Veynes, avec des vitesses de 25 à 30 kilomètres à l'heure), et à des courbes de 250 à 300 mètres de rayon, et quelquefois même exceptionnellement à 200 mètres à l'entrée et à la sortie des gares, où les vitesses sont notablement ralenties.

PREMIÈRE PARTIE

ÉTUDES

CHAPITRE I

ÉTUDES PRÉLIMINAIRES. — AVANT-PROJET ENQUÊTE D'UTILITÉ PUBLIQUE

Choix du tracé. — On comprend, d'après les observations qui précèdent, que l'étude d'une ligne de chemin de fer est une question assez complexe, qui demande une certaine habitude et exige, de la part de l'ingénieur[1] qui en est chargé, une connaissance spéciale, approfondie et très détaillée, des localités traversées, des industries et des ressources à exploiter et des avantages à en retirer. La première chose à faire est, par conséquent, la reconnaissance du terrain sur lequel il est possible d'établir la ligne ; c'est par ce moyen qu'on peut se faire une opinion sur le choix du tracé à adopter. Il est rare, en effet, qu'il ne se présente pas des directions différentes, offrant des avantages qui se compensent, et qu'un ingénieur n'ait pas eu l'occasion de trouver, pour défendre ces divers tracés, des arguments d'égale valeur.

Pour les grandes lignes, cette étude a demandé un temps assez long et des recherches considérables, bien qu'en général leurs tracés se rapprochent sensiblement de ceux des routes nationales. Actuellement qu'il ne s'agit plus que de petites lignes secondaires, véritables ramifications des lignes existantes, l'hésitation est moins grande. On connaît presque toujours les deux extrémités du tracé se raccordant

[1] Le nom général d'ingénieur s'applique à l'homme de l'art, conducteur, chef de section ou autre, à qui est dévolue la mission d'étudier ou de construire une ligne de chemin de fer.

à des gares ou lignes en exploitation et des points intermédiaires, dits *points obligés*, comme certaines traversées de cours d'eau, de villages, où il est très difficile de faire de grands remblais ou de profondes tranchées. On a aussi pour se guider, en pays de montagne surtout, la direction d'une route existante, d'une vallée à remonter ou à descendre, avec une pente facile à déterminer et en s'éloignant assez peu du cours d'eau, ruisseau ou torrent qui en détermine le thalweg. Dans cette étude on ne doit pas perdre de vue les conditions d'établissement, en envisageant sous tous les points de vue le but et l'avenir de la ligne.

Pour le trafic à faire ou à exploiter, convient-il de se maintenir dans les pentes douces, allonger le parcours ou franchir les montagnes, en un mot, se lancer dans de grandes dépenses d'établissement qui, avec les frais d'exploitation, les intérêts et l'amortissement du capital, viennent diminuer le bénéfice probable de l'entreprise ? Ne vaut-il pas mieux, au contraire, augmenter les rampes, contourner les contreforts, sauf à augmenter les frais de traction, qui ne sont qu'un élément assez faible des dépenses générales ?

Toutes ces considérations font voir que l'étude d'un tracé de chemin de fer dépend d'une foule de conditions qu'il est difficile de fixer d'une manière générale, et qui résultent de l'habitude de l'opérateur et aussi de sa grande connaissance du pays où il opère. Néanmoins, nous donnons ci-après un aperçu de quelques-unes des principales conditions auxquelles doit le plus souvent satisfaire un bon tracé.

Conditions d'un bon tracé. — En plaine : rechercher les grands alignements et les courbes à grands rayons, de façon à diminuer autant que possible les terrassements ;

Choisir le point de traversée des ruisseaux, rivières, torrents ou cours d'eau, de façon à diminuer autant que possible les dépenses de fondations des ouvrages et les dimensions de ces derniers ;

Éviter aussi les traversées fréquentes des routes, ruisseaux et rivières, à cause des ouvrages et des sujétions qui peuvent en résulter ; remplacer autant que possible ces traversées par des déviations latérales, en ménageant la direction du

tracé, de manière à faciliter ces déviations ou encore à réunir deux chemins ou deux ruisseaux dans une même traversée ou sous un seul ouvrage;

Établir la traversée d'une rivière ou d'un torrent de préférence en aval des ponts, sur les routes ou chemins, digues ou autres ouvrages existant déjà et pouvant ainsi protéger la nouvelle ligne ;

Aux abords des moulins ou autres usines, se maintenir de préférence en aval des roues motrices et des déversoirs;

Éviter les cimetières, les propriétés bâties ou closes, les propriétés de luxe ou d'agrément, les usines, etc., dont la traversée donnerait lieu à des expropriations coûteuses;

Éviter les terrains argileux et, s'il est impossible de le faire, les traverser plutôt en remblai, et le moins possible en déblai, pour éviter les glissements ou éboulements, résultant des tranchées;

Ménager une partie droite d'au moins 100 mètres entre deux courbes constitutives dirigées en sens contraire;

Ménager également une partie horizontale, ou palier, d'au moins 100 mètres, entre deux déclivités importantes consécutives déversant leurs eaux au même point (article 8 du Cahier des Charges).

Nous verrons plus loin, au profil en long du projet définitif, comment deux déclivités à versant différent, une rampe et une pente, seront raccordées par une courbe de grand rayon.

Il convient également de ne pas trop s'approcher des agglomérations de maisons, des villes, villages, même de ceux qui peuvent ou doivent être desservis par une gare ;

Ne pas chercher à desservir les moindres bourgades et étudier l'importance des productions d'une localité avant de lui sacrifier une diminution de parcours entre les points extrêmes, car il y a lieu de tenir compte aussi bien des marchandises que des voyageurs qui doivent utiliser la ligne. Ainsi on peut avoir intérêt à passer à proximité d'une ville importante, plutôt que de s'en rapprocher par un détour, si le trafic à en retirer n'est pas en rapport avec les dépenses de premier établissement à faire pour ce détour.

En pays de montagne, il convient de se tenir autant qu'on le peut dans le versant de la vallée le mieux exposé au soleil,

de façon à éviter, en hiver, les éboulements de talus, glissements de neiges, crachées de ravins pouvant compromettre l'état de la voie et nuire à son bon entretien.

Traversée des faîtes. — La traversée des faîtes doit avoir lieu dans les endroits les plus étroits et les plus déprimés, en utilisant les gorges, afin de diminuer les déblais, si le tracé est en tranchée. Si, au contraire, la traversée doit avoir lieu en souterrain, c'est le point le plus resserré qu'il faut rechercher, au risque d'augmenter la rampe pour y arriver.

Souterrains. — Les souterrains doivent être, autant que possible, établis en alignement droit, et la pente doit y être moindre que dans les autres parties du tracé. Nous avons vu que l'adhérence y est beaucoup moindre qu'à ciel ouvert et que, par conséquent, la puissance de la locomotive y est beaucoup diminuée.

Traversée des vallées. — Il résulte des conditions qui précèdent qu'on est souvent conduit, dans une étude de chemin de fer, à traverser une vallée à une grande hauteur, surtout si l'on veut arriver à un souterrain. Dans ce cas on doit, autant que possible, choisir les endroits les plus étroits, où les bords de la vallée sont le plus rapprochés, de façon à diminuer l'importance des remblais ou des ouvrages nécessaires à la traversée. Quand, au contraire, le tracé peut se maintenir à une faible hauteur, il faut utiliser les flancs avancés, les contreforts, les points d'épanouissement correspondant au débouché de vallées secondaires ou affluentes et pouvant fournir des facilités de développement dans les conditions de pentes admises.

Gares et stations. — Un chemin de fer étant destiné à assurer le transport des voyageurs et des marchandises, une autre considération qui doit guider dans la détermination du tracé, c'est la recherche du moyen d'en rendre l'accès facile, dans les points d'arrêts qui forment les stations. Le choix de l'emplacement des stations doit être l'objet d'une étude très minutieuse, car il a souvent une importance considérable,

aussi bien sur le tracé complet que sur les résultats financiers de l'exploitation.

Il est en effet très important pour les localités desservies par le chemin de fer d'avoir la gare à proximité. Il est même souvent avantageux que cette gare ne soit pas trop rapprochée, de façon à mieux réserver l'avenir. On peut avoir en effet des agrandissements à faire ultérieurement aux installations de la gare et, d'autre part, on constate que l'extension des villes à station a toujours lieu du côté de la gare, bien que les propriétaires atteints par l'expropriation ne manquent jamais de baser leurs réclamations sur les dommages que leur cause le voisinage du chemin de fer. Dans cette question trois éléments très importants : la dépense, la longueur du tracé et la proximité des points à desservir, se présentent presque toujours avec des signes contraires, ce qui contribue à en rendre l'étude encore plus difficile.

Ces éléments correspondent, en général, à trois intérêts divers : celui du Trésor représenté par l'État ou la Compagnie, celui de la localité, et celui des marchandises ou voyageurs à trajet direct ne s'arrêtant pas dans cette localité. Or, dans les enquêtes auxquelles donne lieu le choix du tracé à adopter, les deux premiers de ces intérêts sont toujours à peu près convenablement discutés et défendus; le dernier est, au contraire, presque toujours le seul dont la défense risque d'être mal faite ou d'être méconnue, attendu qu'il s'applique à une partie du public n'ayant pas de vie commune, sans lieu de concentration et sans mandataire autorisé. C'est donc, dans cette circonstance, à l'ingénieur représentant l'intérêt public qu'il appartient de s'en faire le défenseur; c'est à lui d'apporter tous ses soins et son attention à l'étude minutieuse des meilleures conditions d'établissement du tracé et de l'emplacement des stations qui doivent en faciliter l'exploitation.

Une gare doit, autant que possible, satisfaire aux trois conditions suivantes :

Être en palier sur toute sa longueur, qui est d'au moins 500 mètres dans les petites stations, de 800 mètres dans les gares de moyenne importance et dépasse 1 kilomètre dans les grandes gares ;

Être établie en alignement droit, afin de faciliter la vue des abords, à l'entrée et à la sortie ;

Être à peu près au niveau du sol naturel, sur un terrain peu tourmenté, afin de diminuer les terrassements et les mouvements de terres nécessaires à son emplacement qui peut occuper souvent plusieurs hectares.

On comprend naturellement que ces conditions doivent imposer d'assez grandes sujétions dans la répartition des rampes, pentes et courbes du tracé à entreprendre ou donner lieu à une étude attentive et à un travail sérieux, tant sur le terrain qu'au bureau.

L'écartement des stations dépend évidemment du trafic probable de la ligne et de la densité des populations intéressées et il est difficile de donner une indication précise à ce sujet. Les stations ne doivent pas être trop nombreuses et doivent être placées autant que possible à proximité d'une route, d'un croisement de chemins pouvant en faciliter l'accès. Un espacement de 4 à 5 kilomètres sur les lignes secondaires paraît un minimum qu'il ne convient guère de dépasser.

AVANT-PROJET

Étude sur la carte. — Quand on connaît, ou à peu près, la direction générale à donner à une ligne, on la fixe sur une carte de l'État-Major au 1/40000e dont les courbes de niveau, généralement espacées de 10 mètres en 10 mètres, permettent de se rendre suffisamment compte de la configuration du terrain. Cette carte peut donner des indications assez approchées sur les rampes des faîtes à franchir, ou les pentes des vallées à traverser avec le plus de commodités possibles ; elle permet de se renseigner aussi sur la nature du sol plus ou moins propre à l'établissement de la ligne dans des conditions d'économies satisfaisantes. Comme cette carte contient des altitudes de divers points principaux, on peut ainsi établir un profil en long rudimentaire de l'examen duquel il ressort des indications suffisamment précises pour déterminer le choix de la direction à adopter. Une fois cette direc-

tion arrêtée sur la carte, on fait des reconnaissances du terrain pour avoir une idée exacte des lieux et pour fixer la position de la ligne qui doit servir de base aux opérations ultérieures

S'il existe un plan d'assemblage du cadastre au 1/10000e, on s'en procure un calque sur lequel on reporte la ligne de base arrêtée sur la carte et avec lequel on peut se rendre compte plus facilement sur place des avantages du tracé et des obstacles résultant du voisinage des maisons et des propriétés qu'on peut avoir intérêt à éviter.

Opérations sur le terrain. — Brigade d'études. — L'étude d'une ligne de chemin de fer un peu longue est généralement divisée en sections d'une longueur maximum de 20 kilomètres dont la direction est confiée à un conducteur ou chef de section qui a sous ses ordres :

Un autre conducteur ou sous-chef de section, pouvant le remplacer au besoin dans la détermination de la direction du tracé et les opérations de précision ;

Un ou deux piqueurs pouvant lever des plans et faire des nivellements ;

Un aide opérateur, pour porter les niveau, cercle, théodolite usités dans les opérations ;

Deux chaîneurs et, enfin, un nombre de manœuvres ou auxiliaires, à la journée, en rapport avec l'importance du travail, la longueur des études ou le degré d'activité à déployer.

La première chose à faire sur le terrain par le chef de section, c'est le tracé de la ligne d'axe ou de base des opérations d'après la direction arrêtée au plan général. Cet axe est généralement formé d'une suite de lignes droites dont les extrémités ont été cotées et repérées avec soin par rapport à des limites de cultures, de lieux dits, chemins, sentiers, fossés, ruisseaux et rigoles d'assainissement ou d'irrigation, toujours faciles à retrouver sur place. Il est ensuite jalonné et chaîné avec soin, piqueté par hectomètre ou 1/2 hectomètre, selon la configuration du sol. Les angles des alignements sont exactement relevés au moyen du graphomètre ou du cercle répétiteur, et les sommets d'angles sont indiqués

par une balise ou perche en sapin bien droite et suffisamment haute pour être aperçue à une certaine distance.

Dans l'établissement de cet axe d'opération, qui n'est que provisoire, on évitera autant que possible de couper inutilement des arbres, sauf ceux réellement indispensables, et surtout d'abattre des murs de clôture, en un mot tout ce qui pourrait détériorer les propriétés et occasionner des dégâts et, par suite, donner lieu à des dommages non justifiés, attendu que le projet définitif s'éloignera quelquefois de ce tracé d'étude et que là seulement, le tracé de l'axe devra être parfaitement établi, jalonné et balisé. Dans le cas où l'alignement viendrait à rencontrer un obstacle ou une propriété close que l'on ne peut traverser, il est facile de le reporter latéralement, sur toute la traversée, au moyen d'une parallèle à cet alignement déterminée par deux ordonnées, en avant et en arrière de cet obstacle.

Pendant que le chef de section procède au nivellement en long de cette ligne, une autre brigade d'opérateurs, sous la direction du sous-chef de section, s'occupe au relevé des profils en travers sur les points désignés par des piquets. Ces profils avec cotes généralement de 10 en 10 mètres, en pays de plaine, et plus rapprochées suivant les accidents de terrain, sont poussés jusqu'à 200 ou 300 mètres de chaque côté de l'axe, et servent de base ou de canevas au lever d'un plan sur lequel sont mentionnés avec soin les chemins, fossés et ruisseaux et tous autres détails intéressants. Quelques coups de niveau par rapport aux piquets d'axe sont donnés s'il y a lieu, le long des chemins, fossés (sur les berges et au fond). On se renseigne auprès des anciens habitants sur les plus hautes crues connues et, dans les vallées submersibles, on a soin de relever, pour être portée au plan, la trace de la laisse des plus hautes eaux d'inondations. On a ainsi tous les éléments pour dresser, à l'échelle convenable, un véritable plan coté qui servira plus tard à l'étude détaillée de la ligne et des déviations qu'elle occasionnera.

La détermination de cette ligne d'opération, les nivellements en long et en travers et le relevé du plan, comme il vient d'être dit, constituent pour le moment toutes les opérations préliminaires d'avant-projet à faire sur le terrain. Le

travail de bureau va consister, dès maintenant, à rapporter ces opérations et à en retirer les éléments nécessaires à la rédaction des pièces d'avant-projet et de projet définitif.

La circulaire ministérielle du 28 juin 1879 a donné la nomenclature et la composition des dossiers à fournir à l'administration supérieure. Ces dossiers sont les suivants :

Dossier A. — Avant-projet.
— A'. — Enquête d'utilité publique.
— B. — Projet de tracé et de terrassements.
— B'. — Désignation des territoires traversés.
— C. — Enquête sur le nombre et l'emplacement des stations.
— D. — Enquêtes parcellaires.
— E. — Projet d'exécution.
— F. — Arrêté de cessibilité. — Expropriations.
— G. — Prise de possession d'urgence des terrains non bâtis.
— H. — Estimations. Cessions amiables.
— J. — Offres légales. — Constitution et opérations du Jury.
— K. — Formalités relatives au paiement des indemnités.
— L. — Occupations temporaires des terrains.
— M. — Récolement, réception et remise des ouvrages aux services intéressés.

Nous donnerons quelques détails sur les opérations se rapportant à la confection et à la préparation des pièces des dossiers A, B, C, D et E, concernant les études et la construction.

Dossier A. — Ce dossier se compose des pièces ci-après :

1. Carte au 1/80000^{e} ;

2. Plan d'ensemble à 1/40000^{e} avec courbes de niveau ;

2^{a}. Plan au 1/10000^{e} (ce plan est généralement produit aussi pour les variantes) ;

3. Profil en long au 1/50000^{e} pour les longueurs, et 1/2000^{e} pour les hauteurs ;

3^{a}. Profil en long au 1/10000^{e} pour les longueurs, et 1/1000^{e} pour les hauteurs (même échelle que le plan 2^{a}) ;

4. Profils en travers types au 1/100e pour les longueurs et les hauteurs ;

4a. Profils en travers spéciaux au 1/200e pour les longueurs et les hauteurs;

5. Devis descriptif;

6. Estimation sommaire de la dépense ;

7. Procès-verbal de conférence entre les services intéressés ;

7a. Carte au 1/80000e destinée au Ministre de la Guerre (décret du 2 avril 1874) ;

8. Rapport des ingénieurs.

Le plan d'assemblage du cadastre, s'il n'est pas à l'échelle de 1/10000e, y est ramené au moyen du pantographe, et on y reporte ensuite exactement la ligne d'opération telle qu'elle vient d'être déterminée sur le terrain.

Ces plans, étant presque toujours incomplets, en ce qui concerne les routes, chemins et cours d'eau, sont complétés au moyen des renseignements relevés sur le terrain pour le plan d'étude et aussi du tableau de classement des chemins et de celui des cours d'eau dont le chef de section fait prendre copie dans les bureaux des mairies des communes traversées ou, s'il y a lieu, voisines du tracé. Il est extrêmement important, pour la rédaction des pièces du projet et pour les renseignements dont on aura besoin plus tard, que ces plans donnent les noms exacts des voies de communications et des cours d'eau, ainsi que la direction de ceux-ci.

Plan général d'étude. — Le plan d'étude levé sur le terrain est généralement rapporté à l'échelle de 0m,002 par mètre ; c'est du moins ainsi que nous avons eu l'occasion de le faire au service de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. On prend à cet effet un rouleau de papier sans fin de 1 mètre à 1m,20 de hauteur pour contenir la zone relevée : l'axe du tracé y est rapporté en trait plein interrompu par un pointillé ; les piquets hectométriques ou intermédiaires sont indiqués par un cercle de 0m,001 de diamètre. Les numérotations sont faites provisoirement au crayon, car elles seront modifiées par le piquetage qui ne sera indiqué qu'après le calcul et le tracé des courbes admises pour l'avant-projet ; les distances entre profils sont inscrites sur cet axe en petits chiffres ronds.

Les cotes de nivellement en long et en travers, une fois calculées aux carnets et vérifiées soigneusement, sont rapportées au niveau absolu : celles du profil en long sont inscrites en-dessous du nom de chaque piquet; celles des profils en travers ou autres points relevés sont inscrites aux traces de ces divers points, marquées par une petite croix (×), qui sert ainsi à séparer, dans le nombre indiquant cette cote, la tranche des unités de celle des décimales (*fig.* 4).

Les angles des alignements sont rapportés avec soin au

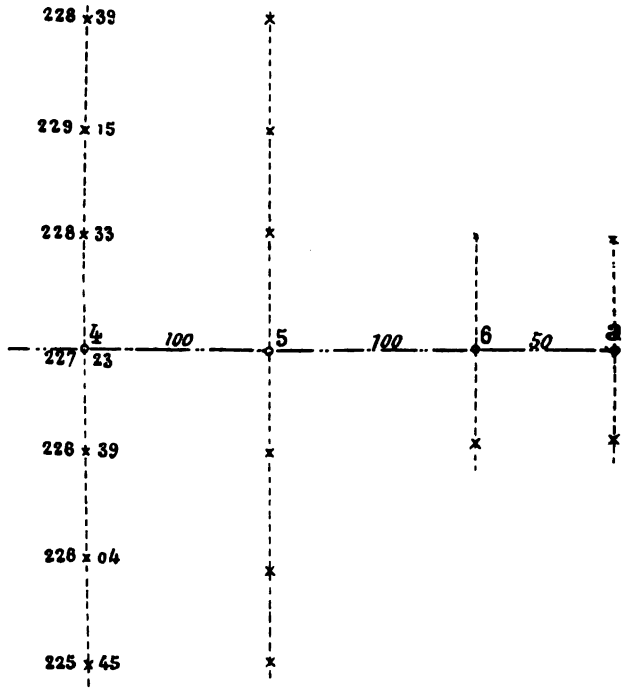


Fig. 4.

moyen d'un rapporteur de grand diamètre, afin d'éviter les erreurs, quelque petites qu'elles soient, qui pour de grands alignements peuvent devenir appréciables et faire dévier la

ligne d'axe. On peut, si l'on n'a pas de rapporteur suffisamment grand, se servir de la trigonométrie.

Supposons que l'on ait à rapporter sur le plan un angle de 169° 43' relevé sur le terrain. On trace un alignement AB, soit B le sommet de l'angle. On suppose l'alignement prolongé en

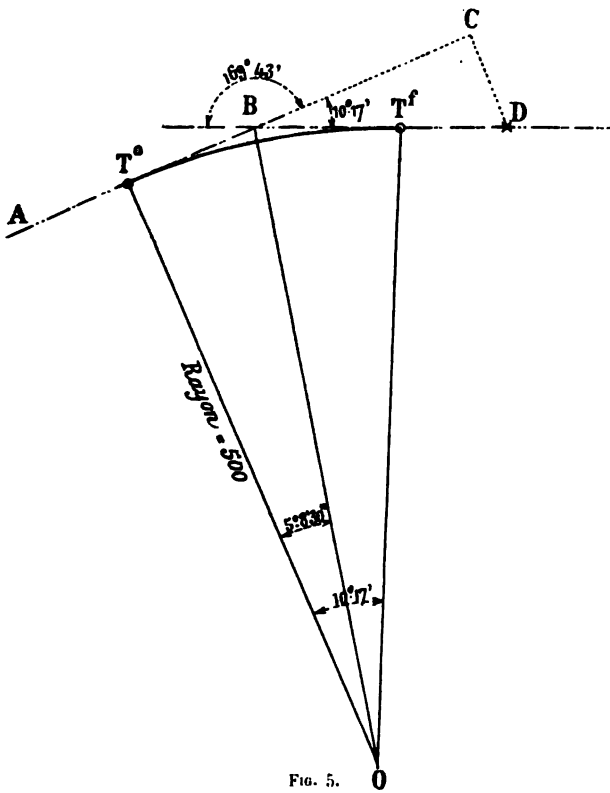


Fig. 5.

C d'une quantité quelconque, 200 mètres par exemple. On élève une perpendiculaire en C, qui doit aller rencontrer l'autre alignement en un point D qui est à déterminer (*fig.* 5). Les trois points BCD appartiennent à un triangle rectangle dont on connaît un angle aigu B, supplément de l'angle des

tangentes, et un côté de l'angle droit; ces données fournissent la relation CD où :

$$x = \log \text{tang } 10^\circ\ 17' + \log 200$$
$$\log 200 = 2{,}3010300$$
$$\log \text{tang } 10^\circ\ 17' = 9{,}2587399 = 1{,}5597399,$$

correspondant au nombre $36^m{,}286$, qui est la longueur du côté cherché. Portant à l'échelle une longueur de $36^m{,}286$ à partir du point C, on a ainsi le point D qui appartient au deuxième alignement cherché BD.

Après le rapport des angles il arrive souvent que la ligne d'axe ne se maintient pas au milieu du papier et se rapproche trop d'un bord; on l'y ramène, dans ce cas, au moyen d'un soufflet convenablement ménagé dans le dessin.

Tous les renseignements relevés sur le terrain, routes, chemins, sentiers, rivières et cours d'eau, fossés d'irrigation, limites de propriétés closes, de lieux-dits, de territoires, etc., sont rapportés sur ce plan avec les cotes qui y sont relatives, s'il y a lieu. On a soin d'indiquer exactement les noms des routes et chemins, tels qu'ils sont donnés aux tableaux relevés dans les communes. Les routes et les chemins empierrés sont indiqués par une légère teinte bistre ; les cours d'eau et ruisseaux qui ne tarissent pas sont teintés en bleu, avec une flèche indiquant la direction d'écoulement des eaux. Ce renseignement ne doit pas être omis, même sur les fossés, car il sert à l'étude des dérivations qui peuvent être nécessitées par les terrassements du chemin de fer.

Ce plan constitue, comme on peut le voir, la principale pièce d'étude de la ligne. Le chef de section ou l'ingénieur s'en sert pour projeter les différentes combinaisons d'alignements et de courbes qui lui paraissent de nature à satisfaire le mieux aux conditions du tracé; au moyen de gabarits de courbes de rayons déterminés, il essaye le tracé de celles qui s'y adaptent le mieux au point de vue des ouvrages nécessités par les déviations ou traversées des routes, chemins et cours d'eau et aussi des traversées obligées à proximité des lieux habités. On comprend dès lors que ce travail donne lieu à des essais et des tâtonnements longs et nombreux inspirés par

l'ensemble des cotes du plan et aussi par la connaissance du terrain que de fréquentes tournées ont rendu familier.

C'est aussi au moyen de ce plan et de celui au 1/10000e sur lequel le tracé arrêté est ensuite reporté que peuvent être fixés les emplacements des stations.

Une fois les courbes adoptées et tracées sur le plan d'étude, on procède au kilométrage de la ligne d'axe, afin d'obtenir la longueur réelle du tracé, la somme des alignements chaînés sur le terrain et rapportés au plan donnant une longueur supérieure à celle résultant des courbes admises.

La première chose à faire est le calcul des tangentes, c'est-à-dire la partie des alignements à retrancher du tracé, et le calcul des courbes qui les remplacent.

En se servant pour cela des deux alignements précédemment déterminés et supposant le rayon donné de 500 mètres, on trace la bissectrice BO de l'angle des alignements ; puis, supposant aussi déterminés les points de tangence T° et T′ (origine et fin de courbe), on forme les triangles T°OB et BOT′, dans lesquels on connaît un côté de l'angle droit, le rayon 500 mètres et l'angle aigu adjacent (5° 8′ 30″), qui est la moitié de l'angle au centre 10°, 17′ supplément de l'angle des alignements (169° 43′). Ces triangles donnent la relation :

$$\log \text{tang ou } x = \log 500 + \log \text{tang } 5°\,8'\,30''$$

or :

$$\begin{aligned} \log 500 &= 2{,}6989700 \\ \log \text{tang } 5°\,8'\,30'' &= 8{,}9541493 \\ \text{Total.....} \quad & 11{,}6531193 \end{aligned}$$

dont le nombre correspondant est 44m,99, qui représente la longueur des tangentes cherchée. A partir du sommet d'angle B, on prend sur chaque alignement une longueur de 44m,99 et on a la position des points de tangence d'origine et de fin de courbe.

Le développement de la courbe est donné par la table de logarithmes (rapport de la longueur de l'arc au rayon pris pour unité).

On a :

pour 10°.....	0,17453
pour 17'.....	0,00494
Ensemble.....	0,17947

qui, multiplié par le rayon 500 mètres, donne 89m,735 ou 89m,74 pour longueur totale de la courbe.

Quand on a terminé le calcul des tangentes et des courbes, on procède alors au kilométrage du tracé, en se servant des alignements connus et du développement des courbes, et au moyen d'un triple décimètre et d'un compas. Il peut se faire que des hectomètres ou des kilomètres tombent en dehors des piquets relevés sur le terrain et en des points qui n'ont pas été nivelés. Il est facile, au moyen des cotes existantes, de donner à ces piquets, par une simple interpolation, une cote d'altitude pour le profil en long, aussi bien que pour les profils en travers qu'il y aurait lieu d'établir en ces divers points. La numérotation de ce kilométrage est faite en partant du piquet 0, placé à l'origine et en désignant les piquets hectométriques par la suite naturelle des nombres; les piquets 10, 20, 30, etc., correspondant ainsi aux kilomètres 1, 2, 3. Les piquets intermédiaires sont désignés par les lettres *a*, *b*, *c*, s'il y a lieu, et les distances entre profils mesurées sur le terrain sont modifiées conformément aux rectifications résultant du tracé des courbes sur le plan.

C'est au moyen de ce plan qu'on étudie les déviations et traversées des routes, chemins et cours d'eau et qu'on fixe la nature et l'importance des ouvrages nécessités par ces traversées : ponts, aqueducs, viaducs, passages à niveau, chemins et fossés latéraux, ainsi que les projets d'emplacement des stations.

Profil en long. — En même temps que l'on complète ce plan, le chef de section fait dresser au moyen des carnets de nivellement, le profil en long à l'échelle prescrite de 1/10000e pour les longueurs et de 1/1000e pour les hauteurs. Ce profil est dessiné sur une feuille de papier sans fin de 0m,31 de hauteur destiné à être pliée sur 0m,21 ; on a soin d'y indiquer

tous les chemins et cours d'eau rencontrés par le tracé et par une ligne bleue cotée, la laisse des plus hautes eaux ou des plus hautes crues connues dans la traversée des plaines submersibles.

Avec ce profil en long et le plan, le chef de section étudie la ligne d'axe du tracé (dite ligne rouge du profil en long), travail qui, comme celui de l'étude de l'axe en plan, nécessite des tâtonnements et des essais nombreux et répétés, tant en raison des traversées importantes de certaines localités que des passages à des points obligés comme des rencontres de canaux ou cours d'eau dont on ne peut dévier ou modifier le cours.

Une autre considération qui doit encore augmenter la difficulté de ce travail, c'est la compensation des déblais et des remblais. Cette compensation ne serait avantageuse théoriquement que si l'on avait un prix unique forfaitaire de déblais, ce qui, en pratique, n'est pas toujours possible, et l'expérience le prouve. On peut avoir, en effet, avantage dans certains cas, à relever la ligne rouge dans une tranchée pour diminuer les déblais, si, d'après la connaissance qu'on a du terrain, on peut prévoir que ces déblais coûteraient plus cher que le cube d'emprunt qu'on serait obligé de faire pour compléter le remblai, ou qu'on évitera des travaux de consolidation plus ou moins considérables. D'autre part, on ne peut pas arriver exactement, dans la pratique, à cette compensation des déblais et des remblais : d'abord à cause du foisonnement des terres, c'est-à-dire de l'augmentation du cube résultant de l'extraction et qui atteint, en général, 1/10e; il varie même avec la nature des terres et les circonstances atmosphériques qui accompagnent l'exécution des travaux. Des remblais, en terre ordinaire ou en mottes, exécutés en temps humide ou pendant la pluie, tassent beaucoup plus que les remblais de même nature exécutés pendant la sécheresse. Enfin, l'ordre dans lequel certains ouvrages d'art sont exécutés peut venir modifier le mouvement des terres et mettre un obstacle à l'emploi prévu des terres d'un côté ou de l'autre de ces ouvrages et conduire aussi à mettre en dépôt les déblais en excès. On remarque aussi fort souvent, en pratique, qu'il est préférable d'avoir un excédent de rem-

blais et, par conséquent, de recourir à des emprunts plutôt que d'avoir des déblais à mettre en dépôt sur les terrains voisins.

Sommets de pente. — Les cotes des sommets de pentes ou de rampes sont ordinairement données en nombres ronds et exacts de décimales (123^{m},735 — 241^{m},830), et pour cela on fait en sorte d'adopter des pentes ou des rampes en nombres tels que, multipliés par la longueur d'application, autant que possible en nombre rond de mètres, ils donnent un produit en nombre exact de décimales au millième : ainsi une pente de 0^{m},00145 sur 740 mètres donnant un abaissement de 1^{m},073 doit être préférée à une pente de 0^{m},00145 sur 743 mètres, ou de 0^{m},00147 sur 743 mètres, donnant respectivement des abaissements de 1^{m},07735 et de 1^{m},0878. Du reste, avec quelques tâtonnements et un peu d'habitude on parvient à trouver les chiffres qui s'appliquent le mieux aux combinaisons ou aux exigences du projet.

Calcul du profil en long. — Une fois les pentes et les rampes admises, les cotes extrêmes arrêtées, on calcule les cotes intermédiaires correspondant à chaque piquet. Ces calculs se font rapidement à la règle, en ayant soin, dans tous les cas, d'opérer pour chaque piquet non par distance partielle, mais par longueur cumulée depuis l'origine de chaque pente ou rampe. On peut préparer, à cet effet, un tableau de piquetage contenant : dans une première colonne, l'indication des piquets du tracé; dans la deuxième, la distance entre les piquets; dans la troisième, les longueurs cumulées; dans la quatrième, les cotes applicables à ces longueurs, résultant de la multiplication avec la pente ou la rampe; et, enfin, dans une cinquième colonne, les altitudes absolues obtenues par l'addition de chacune des cotes calculées avec la cote d'origine s'il s'agit d'une rampe, ou par soustraction si c'est une pente. C'est la cote rouge du profil.

La différence en plus ou en moins, de cette cote avec celle du terrain naturel, à chaque piquet, donne la cote de remblai ou de déblai du profil en long. Cette cote s'inscrit sur l'ordonnée de chaque piquet, en dessous de la ligne

rouge pour les déblais et en dessus de cette ligne pour les remblais. On passe une légère teinte jaune pour indiquer les déblais et une teinte rose pour les remblais, entre la ligne du terrain et celle de la plateforme. On figure par une coupe en rouge, aux points où ils sont indiqués au plan, les divers ouvrages d'art projetés à la rencontre des routes, chemins et cours d'eau. Les ouvrages en dessus ou en dessous du chemin de fer en maçonnerie ou avec poutres métalliques, dits passages supérieurs ou inférieurs, sont désignés par la notation P.S. ou P.I. de ..... mètres d'ouverture en maçonnerie ou avec P.M.

Les passages à niveau sont indiqués par un petit drapeau mi-rouge et blanc et par la notation P.N. de ..... mètres de largeur.

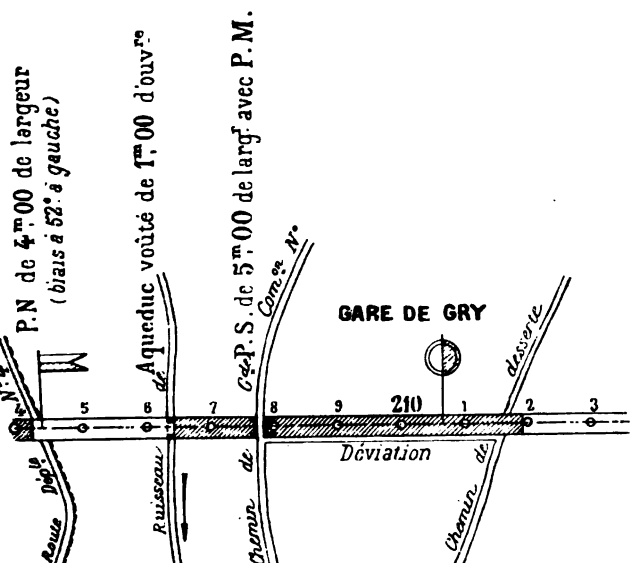


FIG. 6.

Les gares et stations sont indiquées par un disque (*fig.* 6) également mi-rouge et blanc. Ces mêmes indications sont

reportées sur le plan au 1/10000e, sur lequel le tracé est figuré avec le piquetage, ainsi que les ouvrages de toute nature, déviations de chemins et cours d'eau, etc. Une légère teinte rose ou jaune indique les parties en remblai ou en déblai, conformément aux dispositions du croquis ci-dessus (*fig.* 6) (où les remblais sont marqués par des hachures).

Les cotes rouges du profil en long sont reportées sur le plan général au 1/2000e en dessus de la cote noire de chaque piquet. La plateforme de la ligne y est indiquée au moyen de deux traits continus, un de chaque côté de l'axe. La largeur de cette plateforme est indiquée, dans chaque cas, par les types usités ordinairement par la Compagnie dans la région où l'on opère. A la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, et généralement du reste, cette largeur est déterminée ainsi :

Plateforme en remblai pour une voie	6m,00
— — deux voies	9m,60
— en déblai pour une voie.....	7m,60
— — deux voies.....	11m,20

La largeur du remblai pour une voie étant de 6 mètres, on ajoute la distance d'axe en axe des deux voies

$$(1^m,57 + 2^m,00) = 3^m,57,$$

soit 3m,60 pour avoir la plateforme à deux voies.

De même, en ajoutant à chacune des dimensions de la plateforme pour une voie deux fossés de $0^m,80 = 1^m,60$, on obtient la plateforme en déblai pour deux voies.

Avec les cotes rouges et celles du terrain naturel à chaque piquet, il est alors très facile (au moyen de la règle à calcul et sans avoir pour cela besoin de faire le dessin des profils en travers) de déterminer la crête des talus de déblai et le pied des talus de remblai (*fig.* 7). Les talus de remblai sont généralement inclinés à 3 de base pour 2 de hauteur; c'est, du reste, l'inclinaison naturelle des terres en déchargement ou en dépôt. Il est même quelquefois utile, quand les remblais doivent atteindre une grande hauteur, d'en augmenter l'inclinaison en leur *donnant du pied* au moyen d'un ou deux redans, ménagés à la partie inférieure et formant un empattement ou contrefort qui en augmente la stabilité.

Les talus de déblai sont assez généralement réglés à 45°, c'est-à-dire à 1 de base sur 1 de hauteur, dans les bonnes terres et les terrains solides ne faisant pas craindre des éboulements; quand les terrains sont de mauvaise qualité ou mélangés d'argile, il est prudent d'adoucir la pente des talus et de les régler à 3 de base pour 2 de hauteur (c'est ce qu'on désigne assez communément sous le nom de talus à 6/4).

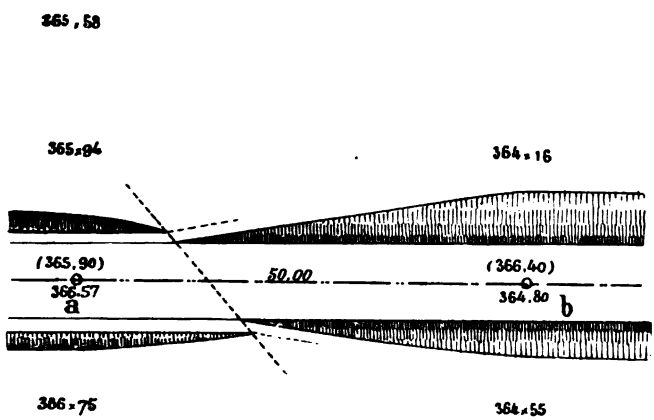


FIG. 7.

Cette disposition permet, du reste, beaucoup mieux les revêtements en terre végétale qu'on est le plus souvent obligé de faire pour les ensemencer en gazons et les préserver ainsi de l'action destructive des agents atmosphériques. Les revêtements et les semis ne tiendraient pas sur des talus à 45°.

Profils en travers. — On rapporte généralement les profils en travers sur un dessin spécial ou un cahier du format de 21/31 pour le projet définitif ; les terrassementss y sont figurés au moyen d'un gabarit de déblai ou de remblai dont les talus sont réglés d'après les inclinaisons indiquées précédemment et appliqué à chaque profil d'après la cote rouge déterminée

au profil en long. Pour un avant-projet le calcul des terrassements se fait ordinairement sur le plan général au 1/2000e. Voici comment on opère : Prenant sur le croquis précédent le profil *a*, on suppose le terrain représenté par la ligne AB (*fig.* 8) avec les cotes relevées à 10 mètres de chaque côté de l'axe. et

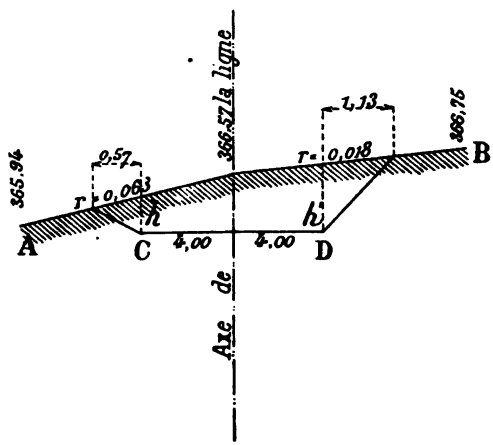


FIG. 8.

on détermine la pente transversale du terrain : rampe de 0m,063 à gauche et 0m,018 à droite. On suppose également la plateforme à la cote du profil en long (365,90) suivant la ligne CD avec 4 mètres de chaque côté de l'axe ; connaissant la cote sur cet axe : 0m,67, il s'agit de déterminer les cotes *h* et *h'* du terrain naturel correspondant aux points C et D. A gauche le terrain en pente de 0m,063, par rapport à l'axe, donne pour le point correspondant au point C :

$$4 \times 0{,}063 = 0{,}252$$

en contre-bas de cet axe, soit l'altitude :

$$366{,}57 - 0{,}25 = 366{,}32;$$

la plateforme étant à 365,90,

$$h = 366{,}32 - 365{,}90 = 0{,}42.$$

Il reste à trouver la distance horizontale à laquelle le talus de déblai du point C rejoindra le terrain naturel. On remarque que la pente de ce terrain p et celle du talus p' sont de sens contraire ; dans ce cas la différence des cotes du terrain naturel et du profil en déblai, pour chaque mètre à partir du point C, se compose de la pente du terrain, ou de l'abaissement correspondant à cette pente et de l'élévation de la rampe du talus. Désignant cette distance horizontale par l, on a donc :

$$l = \frac{h}{p + p'},$$

c'est-à-dire la différence de niveau divisée par la somme des pentes, ou :

$$\frac{0{,}42}{0{,}063 + 0{,}067} = \frac{0{,}42}{0{,}730} = 0{,}57.$$

La crête du talus du côté gauche est donc à $4^{m},57$ de l'axe.

A droite de l'axe, le terrain en rampe de $0^{m},018$ donne pour la cote correspondant au point D :

$$4 \times 0{,}018 = 0{,}072,$$

ou

$$366{,}57 + 0{,}07 = 366{,}64 ;$$

le point D étant à 365,90, on aura pour sa cote rouge

$$h' = 366{,}64 - 365{,}90 = 0{,}74.$$

Le talus de déblai et la pente du terrain allant dans le même sens, la distance horizontale à laquelle ce talus rencontrera le terrain naturel est donnée par la formule :

$$\frac{h'}{p - p'},$$

c'est-à-dire la différence de niveau divisée par la différence

des pentes, ou :

$$\frac{0,74}{0,667 - 0,018} = \frac{0,74}{0,649} = 1,13$$

(0,667 représente la pente du talus à 6/4).

La crête du talus de déblai se trouve donc à $5^m,13$ de l'axe.

Par un calcul analogue on aurait les pieds du talus de remblai au profil *b*.

On a ainsi avec la configuration des terrassements sur le plan au 1/2000e tous les éléments nécessaires au calcul du cube des terrassements. On fait généralement pour cela la surface des déblais ou remblais à chaque profil que l'on multiplie par la demi-somme des longueurs entre chaque profil précédant et suivant le profil considéré. Seulement on remarquera que dans l'exemple ci-dessus, les deux profils étant l'un en déblai, et l'autre en remblai, chacune des surfaces de ces profils ne peut s'appliquer sur la demi-longueur correspondante. On détermine dans ce cas le point de *passage*

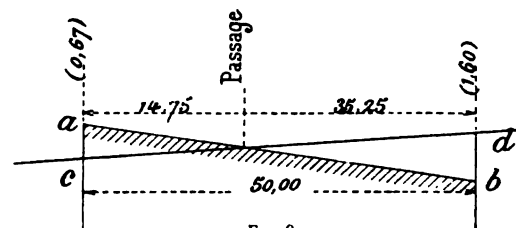


Fig. 9.

des terrassements, c'est-à-dire le point de l'axe où ces terrassements sont nuls, point considéré comme appartenant à un profil zéro. La détermination de ce point de passage est excessivement simple et se trouve indiquée au profil en long comme au croquis ci-dessus (*fig.* 9), où *ab* représente le terrain entre les deux profils, distants de 50 mètres, et *cd* la ligne rouge du profil en long (que *cd* soit horizontal ou en rampe de $0^m,010$, comme dans le cas que nous avons choisi). La différence de niveau des points *a* et *b* est donnée par les cotes

de déblai et de remblai (0,67 + 1,60) ; le point de rencontre des deux pentes ou de passage cherché est fourni par la proportion :

$$x \text{ (distance de ce point au point } a) : 50 \text{ (longueur totale)} :: 0{,}67 : 2{,}27$$
$$(2{,}27 = 0{,}67 + 1{,}60),$$

d'où :

$$x = \frac{50 \times 0{,}67}{2{,}27} = 14{,}75.$$

La distance du point de passage par rapport à un profil est égale au produit de la longueur entre profils par la cote rouge du profil considéré divisé par la somme des cotes de déblai et de remblai des deux profils.

Pour la figuration des terrassements au plan on détermine de la même manière le point de passage correspondant à chacune des arêtes de la plateforme ; en joignant ces trois points, on a la ligne de passage des terrassements limitant ainsi la fin du fossé de la tranchée et le commencement du remblai de chaque côté de l'axe. Dans le cas d'une rampe (comme dans l'exemple présent) on fait commencer le fossé à l'origine même du remblai, les eaux de la tranchée devant s'écouler du côté de l'origine du projet ; si, au contraire la pente allait de *a* en *b*, on ferait continuer les fossés le long du pied du talus de remblai, comme cela est indiqué en pointillé au croquis n° 7 et sur une longueur suffisante pour permettre à la pente du plafond du fossé de regagner le terrain naturel.

En dehors de la limite des terrassements, il est d'usage de laisser en face de chaque profil une zone de $1^{m},50$ à 2 mètres pour les clôtures. On a ainsi la largeur des emprises permettant de calculer assez approximativement la surface des terrains nécessaires à l'exécution des travaux.

On complète le plan par l'indication des déviations des chemins et cours d'eau et des terrassements auxquels ces déviations donnent lieu. Ces deux plans et le profil en long complètent tous les éléments nécessaires à la constitution du dossier A.

La décision ministérielle approbative de l'avant-projet ou

des variantes qui lui sont partiellement substituées prescrit la mise à l'enquête de cet avant-projet; le dossier d'enquête d'utilité publique constitue le dossier A', il est ainsi composé :

I. — Lettre d'envoi au préfet des dossiers à soumettre à l'enquête et demande d'ouverture de l'enquête;

II.— Dossier de l'enquête à ouvrir aux chefs-lieux des départements et des arrondissements traversés par le chemin de fer ;

III. — Procès-verbal de la Commission d'enquête ;

IV. — Délibération de la Chambre de Commerce ou de la Chambre consultative des Arts et Manufactures;

V. — Rapport des Ingénieurs sur les résultats de l'enquête.

Chaque sous-dossier II est lui-même composé des pièces suivantes indiquées, du reste, dans la lettre d'envoi au préfet :

1° Carte générale du tracé au 1/80000e ;

2° Profil en long au 1/40000e pour les longueurs, et au 1/2000e pour les hauteurs ;

3° Profils en travers spéciaux au 1/200e pour les longueurs et les hauteurs ;

4° Devis descriptif;

5° Notice explicative avec estimation sommaire de la dépense et appréciation des avantages de l'entreprise;

6° Un projet d'arrêté ordonnant le dépôt des pièces d'avant-projet, prescrivant l'ouverture de l'enquête et nommant la commission appelée à donner son avis;

7° Un registre d'enquête et un projet de procès-verbal de la Commission.

Tous les imprimés de ces pièces, titres ou tableaux, sont établis d'après les modèles adoptés par l'Administration.

CHAPITRE II

ÉTUDES DÉFINITIVES. — PROJET DE TRACÉ ET DE TERRASSEMENTS. — PROJET DÉFINITIF

L'étude de l'avant-projet consiste principalement, comme on vient de le voir, en une étude sommaire sur le terrain et complétée au bureau sur le plan coté général dressé par le chef de section. Dans ces conditions, les axes qui ont pu être tracés sur le terrain ne sont pas toujours conservés par des balises et piquets définitifs en raison des variantes plus ou moins admissibles étudiées en même temps que l'axe principal.

Pour l'étude du projet définitif, les opérations sur le terrain sont généralement plus détaillées; elles sont en effet spécialement appliquées à une ligne qui est à peu près déterminée par les indications de l'avant-projet ou des parties de variantes adoptées par la décision ministérielle approbative.

Dès qu'une ligne a été déclarée d'utilité publique, la direction à suivre étant arrêtée, la première opération à faire est de reporter sur le terrain le tracé de l'axe définitivement adopté. On connaît par le plan d'étude la direction des alignements, la position à peu près exacte des sommets d'angle et les points de repères par rapport aux limites de propriétés, chemins, etc., qu'il est facile de retrouver sur le terrain.

Tracé des alignements définitifs. — Le tracé des alignements définitifs doit être fait avec une très grande exactitude. Le chef de section doit pouvoir à cet effet pénétrer dans toutes les propriétés, closes ou non, atteintes par le tracé, sauf à en obtenir, toutefois, l'autorisation des propriétaires, soit amiablement, soit en vertu d'un arrêté préfectoral pris sur la proposition des ingénieurs.

Le chef de section est autorisé dans ces opérations définitives à abattre les arbres, couper les haies et autres obstacles existant au passage de la ligne. Quand il se rencontre des murs d'enclos, jardins ou propriétés importantes ou des bâtiments de toute nature, on devra les franchir sans démolition en indiquant sur leur face la direction du tracé par une ligne verticale à la peinture rouge et en les surmontant d'un jalon portant un petit drapeau donnant ainsi l'alignement de l'autre côté de l'obstacle.

Fig. 10.

Dans les bois, broussailles ou fourrés, le passage de la ligne doit être parfaitement dégagé sur 1 mètre de largeur par un abatage des arbres, ou un recépage jusqu'au niveau du sol.

Le tracé des alignements se fait au moyen de jalons ferrés de 2 mètres de hauteur (*fig.* 10), généralement peints en rouge et blanc par parties alternatives de 50 centimètres et de jalonnettes en sapin ou bois blanc de 1 mètre de hauteur plantées dans l'intervalle des jalons. On place à cet effet un cercle répétiteur ou un théodolite sur l'alignement, de façon à apercevoir alternativement les deux sommets d'angle en retournant la lunette de 180°. Dès qu'on a trouvé le point exact, on fait échelonner des jalons de distance en distance et des jalonnettes dans l'intervalle, en procédant toujours par les points les plus éloignés de l'opérateur, de façon que le fil de la lunette couvre exactement la ligne des jalons que l'on fait planter solidement dans la terre et bien verticalement au moyen du fil à plomb s'il est nécessaire.

Mesure des angles. — L'angle des alignements est relevé avec soin au moyen d'un graphomètre ou d'un cercle répétiteur, et on a soin de déterminer par un piquet rond placé à 5 ou 10 mètres, portée d'une chaîne, la direction de la bissectrice de l'angle sur laquelle devra se trouver ultérieurement le sommet de la courbe de raccordement des deux alignements.

Balisage. — A chaque sommet d'angle, on place une balise d'environ 5 à 6 mètres de hauteur et de 35 à 50 centimètres de circonférence à la base. Les balises (*fig.* 11) sont ordinairement des troncs de sapin bien droits, écorcés et blanchis surmontés de deux petits drapeaux mi-blanc et rouge, fixés sur deux liteaux cloués en éventail à 45°. Ces balises, destinées à conserver le tracé, sont fichées en terre de 1 mètre au moins, dans un trou de 1 mètre carré et assujetties au moyen de pierres arrangées à la main, avec un peu de mortier ou simplement de boue de route et recouvertes de terre pilonnée formant un bourrelet en cône de 20 centimètres au-dessus du sol, autour de leur pied.

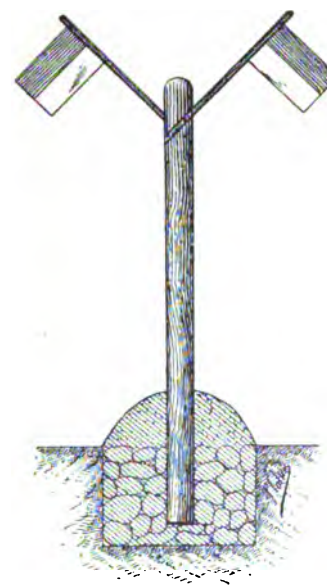


Fig. 11.

On place souvent une balise à chaque point de tangence quand on a calculé et tracé la courbe de raccordement des alignements. Ces balises sont, dans ce cas, surmontées d'un seul drapeau fixé à un liteau cloué verticalement au sommet et portent cette annotation faite à la peinture rouge $\overset{T}{O.C}$ ou $\overset{T}{F.C}$ (tangente origine ou fin courbe).

Enfin, quand les alignements ont plusieurs kilomètres de longueur, on place une ou deux balises intermédiaires en des points convenablement choisis; ces dernières balises ne sont surmontées d'aucun drapeau.

Tracé des courbes. — Une fois les angles relevés sur le terrain, on connaît généralement, d'après les données du plan de l'avant-projet, le rayon des courbes s'adaptant le

mieux aux conditions du tracé. Le calcul des courbes, des tangentes et de la bissectrice peut se faire directement, soit au moyen des tables de logarithmes, comme nous l'avons dit à l'avant-projet, soit au moyen des tables dressées à cet effet, et parmi lesquelles nous citerons celles de MM. Déglin, Dupuy, Gaunin, etc. Ces tables donnent pour tous les cas et pour tous les angles des approximations suffisantes, elles sont d'un usage plus commode que l'emploi des logarithmes, et se prêtent mieux à des calculs à faire sur place. On détermine ainsi trois points de la courbe : les deux tangentes et la bissectrice que l'on indique, en attendant le piquetage, par des jalons plantés solidement et parfaitement verticalement au moyen du fil à plomb. Il ne reste plus qu'à déterminer les points intermédiaires de la courbe. Il existe pour cela diverses méthodes que nous ne décrirons pas ici et dont la plus généralement employée consiste à élever des ordonnées sur les tangentes, en partant de l'origine de la courbe. Certaines tables donnent les ordonnées correspondant à des abscisses égales de 5 ou 10 mètres à partir des points de tangence. Les points de la courbe ainsi obtenus correspondent à des arcs inégaux, ce qui paraît moins régulier à l'œil. Les tables de Déglin sont calculées par arcs égaux de 5 en 5 mètres pour les courbes au-dessous de 200 mètres, et de 10 en 10 mètres pour les courbes d'un rayon supérieur. Ainsi, pour une courbe de 250 mètres, les abscisses successives de 10 mètres, $19^m,98$, $29^m,93$, $39^m,83$, $49^m,67$, $59^m,42$ et $69^m,07$, donnent des ordonnées de $0^m,20$, $0^m,80$, $1^m,80$, $3^m,19$, $4^m,98$, $7^m,16$ et $9^m,73$ dont les extrémités sont équidistantes et déterminent ainsi des arcs égaux de 10, 20, 30, 40, 50, 60 et 70 mètres de développement total. Ces points sont indiqués par des jalonnettes plantées verticalement au moyen du fil à plomb. On doit éviter autant que possible les trop grandes lignes d'opération, à cause des erreurs de chaînage qui pourraient en résulter ; à cet effet, on opère successivement sur chacune des tangentes pour la détermination des divers points situés de chaque côté du sommet de courbe. Ce procédé a, sur les autres, l'avantage de dessiner ainsi sur le terrain une courbe parfaitement régulière, d'un aspect qui satisfait l'œil, et dont l'irrégularité

même d'un point suffit pour signaler une erreur de chaînage toujours facile à rectifier. Un autre avantage de ce procédé, c'est de permettre la vérification du développement de la courbe, avant le piquetage, dès qu'on a déterminé les points les plus rapprochés de la bissectrice, de chaque côté du sommet de cette courbe. La distance entre ces deux points, ajoutée à la somme des arcs de 10 mètres, doit correspondre au développement de la courbe donné par le calcul ou les tables.

Chaînage. — Les alignements et les courbes étant tracés, on procède au chaînage et au piquetage de la ligne. Le chaînage est fait au moyen d'un ruban décamétrique en acier par deux manœuvres parfaitement dressés par le chef de section. Le second de ces chaîneurs dirige l'opération ; il fait mettre le premier à l'alignement formé par les jalons, et, après s'être assuré que la chaîne est tendue horizontalement, fait enfoncer une fiche à chaque portée de 10 mètres. Ces chaîneurs doivent être munis, en outre, chacun d'un fil à plomb pointu de façon à pouvoir, s'il y a lieu, maintenir la chaîne horizontale, soit en montant : celui d'arrière tenant son fil à plomb sur le point de départ ou la tête de la fiche plantée précédemment ; soit en descendant : le premier se servant de son fil à plomb pour déterminer le point où doit être placée la fiche de chaînage. Dans les courbes, les points étant placés tous les 10 mètres, le chaînage se fait absolument comme sur un alignement droit, sans erreur appréciable.

Piquetage. — En même temps que le chaînage, on fait le piquetage de la ligne. On place des piquets à tous les points de nivellement, selon la configuration du terrain et, en tous cas, à tous les hectomètres. Le numérotage se fait au moyen de la suite naturelle des nombres, en partant du piquet 0 placé à l'origine ; le piquet 1 est à 100 mètres, le piquet 2 à 200 mètres, et ainsi de suite jusqu'à la fin ; de sorte que, pour un tracé de 17^{km},125, le dernier piquet sera 171 + 25 ou 171^{a}.

Les piquets (*fig.* 12) sont ordinairement en bois rond de 6 à 10 centimètres de diamètre, bien droits, en chêne ou bois dur, de 50 à 60 centimètres de longueur, selon la nature

du sol, pointus à leur extrémité. Leur partie supérieure porte, sur 10 centimètres à partir du sommet, une entaille au 1/3 de l'épaisseur sur la face de laquelle le numéro du piquet est inscrit à la peinture rouge au moyen de vignettes. Ces piquets sont mis en place au moyen du goniomètre dis-

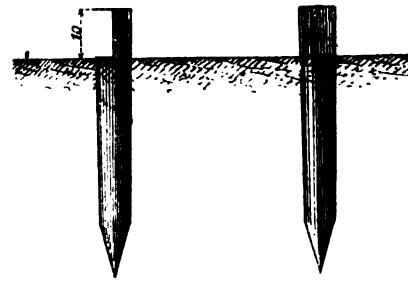


Fig. 12.

posé sur l'alignement soit en avant, soit en arrière. Comme le chaînage accompagne toujours le piquetage, les chaîneurs restent en place sur le point chaîné le plus voisin de l'endroit où le piquet sera placé. On enfonce celui-ci dans le sol à l'aide d'une masse, la face entaillée tournée du côté de l'origine, jusqu'au niveau de l'entaille sur le rebord de laquelle on placera le talon de la mire et qui est le véritable point de nivellement correspondant au terrain. On remet la chaîne en place, et le point de chaînage est indiqué sur la tête du piquet qui vient d'être planté, par la position alignée au goniomètre de la fiche du premier chaîneur, le piquet ayant pu dévier en s'enfonçant. Ce point est marqué ensuite par une pointe enfoncée dans la tête du piquet et indiquant ainsi l'axe exact du tracé. Autant que possible, la distance entre les piquets doit être en nombre rond, ce qui facilite les calculs ultérieurs sans nuire à l'exactitude.

Le piquetage terminé sur un alignement, on enlève les jalons et jalonnettes qui se trouvent en arrière, en ne laissant qu'une jalonnette au pied de chaque piquet de nivellement.

Si le sommet d'une courbe ne concorde pas avec un point de nivellement, on y place un piquet rond non entaillé. Quand

les tangentes ne sont pas elles-mêmes des points de nivellement et qu'elles ne sont pas indiquées par une balise, on y place généralement un piquet entaillé avec l'annotation à la peinture rouge : T.O.C. et T.F.C. (tangente origine courbe et tangente fin courbe).

Bornes-repères des alignements. — Pour des projets de quelque importance on a généralement l'habitude de placer des bornes en pierre (*fig.* 13) pour repérer les alignements et permettre de les rétablir plus tard en cas de disparition des piquets d'axe et aussi pour servir de points de repères de

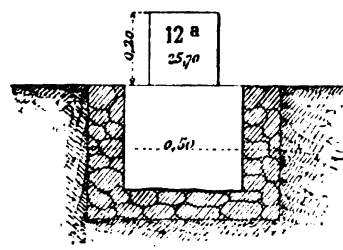


FIG. 13.

nivellement lors de l'implantation ultérieure des bâtiments, ouvrages d'art et la pose de la voie. La partie supérieure de ces bornes est taillée en forme de cube de 20 centimètres de côté ; la face supérieure porte, en son milieu, un petit trou de 5 centimètres de profondeur permettant d'y placer un jalon ; le reste des bornes formant socle est simplement dégrossi plus ou moins régulièrement. Elles sont fixées dans un trou cubique de 50 centimètres et solidement assujetties dans un bloc de maçonnerie de pierrailles ou de béton formé avec du mortier de terre de route. On en place généralement une à tous les 500 mètres, normalement à un piquet d'axe, plus particulièrement en un point convenablement choisi sur le bord d'un chemin, d'un ruisseau, d'un fossé, sur une limite de propriété de façon à ne pas gêner ni déranger la culture. Sur la face parallèle au tracé, on inscrit à la peinture rouge la distance au piquet d'axe par exemple :

$12^{e} = 25^{m},70$, c'est-à-dire que sur une normale de $25^{m},70$ à partir de la borne on trouve le piquet 12^{e} du tracé ; sur la face (côté de l'origine), on inscrit à la peinture noire la cote de nivellement soigneusement vérifiée lors de l'établissement du profil en long (220, 145) [1].

Il est dressé un tableau des bornes-repères qui reste au bureau du chef de section et sur lequel on indique : le numéro des bornes, le piquet auquel chacune d'elles correspond, sa distance à l'axe du tracé a gauche ou à droite, son altitude d'après le nivellement et, enfin, dans la colonne d'observations, sa position par rapport aux chemins, fossés ou ruisseaux, en un mot toutes les indications permettant de les retrouver aisément plus tard.

Nivellement en long. — Le nivellement en long exigeant une grande précision doit être fait avec beaucoup d'attention et d'exactitude. On se sert pour cela du niveau à bulle d'air et de la mire parlante Bourdaloue, de 4 mètres de longueur, divisée par 2 centimètres. Chaque coup de lunette ne donnant ainsi que la moitié de la cote réelle, on donne deux coups sur chaque point, en retournant la lunette ou le niveau de 180°, suivant l'instrument employé, et on fait la somme des cotes lues pour avoir la cote vraie. Cette opération étant, avec le tracé de l'axe, la plus importante de l'étude du projet, doit être faite autant que possible par le chef de section ; il est ordinairement secondé par un aide opérateur ou lecteur familiarisé avec l'usage du niveau et la lecture de la mire, qui tient de son côté un carnet de nivellement lui servant ainsi de contrôle. Une fois le niveau en place à chaque station, l'observation est faite d'abord par le chef de section qui inscrit la cote lue à son carnet, et ensuite par l'aide opérateur ; ils ne se communiquent la cote qu'après avoir fait chacun son observation qui doit être recommencée chaque fois que la différence constatée atteint ou dépasse 1 millimètre. En même temps qu'il inscrit ses cotes de nivellement, l'opé-

[1] Ces bornes peuvent avoir aussi, dans la suite, une utilité pour les travaux de nivellement ou tous autres travaux d'implantation d'ouvrages à faire dans le voisinage de la ligne ou de la région traversée.

rateur fait sur la page correspondante de son carnet, ou le fait faire par son aide, le croquis figuratif du tracé avec les chemins et cours d'eau rencontrés, ainsi que tous les accidents de terrain.

Dans les pays accidentés on ne peut guère, à chaque station, niveler que quelques piquets et encore sans trop s'éloigner de l'axe ; la portée des coups de lunettes ne doit, en tous cas, pas être inférieure à 15 à 20 mètres, à cause des difficultés de lecture résultant d'un trop grand rapprochement, ni supérieure à 150 à 300 mètres, sans s'exposer à des erreurs d'appréciation. Le porte-mire, choisi parmi les ouvriers intelligents de la brigade, doit être habitué à ce travail, ou mis rapidement au courant, de manière à placer chaque fois, et sans qu'on soit obligé de le lui rappeler, le talon de la mire sur l'encoche du piquet préalablement nettoyée. Il doit tenir sa mire des deux mains, sans aucun balancement, pouvant occasionner des chances d'erreur, et dans une position parfaitement verticale ; pour cela un fil à plomb formé d'une balle ronde de 2 centimètres de diamètre et d'une ficelle de 50 à 60 centimètres de longueur est adapté au moyen d'un piton sur le côté de la mire déployée et constamment devant l'œil du porte-mire.

Lorsque le tracé rencontre une route ou un chemin quelconque, s'il n'existe à ces traversées aucun piquet de nivellement, on a soin de prendre, en passant, une cote sur l'axe de la chaussée qui doit, du reste, être indiqué autant que possible par un piquet rond enfoncé à ras du sol quand on fait le piquetage. A la rencontre des cours d'eau, ruisseaux on a soin également de prendre la cote de chaque rive, celle du fond, celle de l'étiage, des hautes eaux et des plus hautes crues, enfin tous les renseignements pouvant être utiles lors de la rédaction des projets des ouvrages d'art.

On procède à ce nivellement par portions, afin de pouvoir autant que possible se vérifier, chaque jour, par un nivellement en retour, de manière à ne continuer le lendemain que si on est sûr des opérations de la veille. On prend à cet effet des cotes sur les bornes-repères des alignements et sur tous les points fixes qu'on rencontre, tels que parapets de ponts, seuils de porte, appuis de fenêtres, etc., constituant

autant de repères que l'on marque à la peinture rouge par un X et un R, dès qu'ils sont définitivement arrêtés.

Nivellement en travers. — Dès que le chef de section a commencé le nivellement en long, une deuxième brigade d'opérateurs s'occupe du lever des profils en travers. Cette opération, n'exigeant pas une exactitude aussi rigoureuse que celle du profil en long, est faite ordinairement au moyen du niveau d'eau et de la mire à coulisse. On comprend en effet que, les points à relever devant être pris sur le terrain naturel, sans piquets, l'épaisseur même d'une motte de terre peut donner par la position de la mire un écart de plusieurs centimètres en plus ou en moins, ce qui n'influe pas sérieusement sur le calcul des terrassements.

Les profils en travers sont levés perpendiculairement à l'axe du tracé, à tous les piquets indiqués par le profil en long, sur une longueur de 30 à 50 mètres de chaque côté de cet axe. Au moyen de l'équerre ou du goniomètre placé à côté du piquet et sur l'alignement général, on commence par tracer la base ou axe de chaque profil en faisant placer une jalonnette à chacun des points saillants à relever et en chaînant les distances entre ces points. Ces chaînages sont faits en cumulant les longueurs de chaque côté, à partir de l'axe, et en prenant autant que possible des points à des distances en nombres ronds, ce qui facilite les calculs, sans nuire à leur exactitude. Quand on est en pays plat, ou peu accidenté, on prend ordinairement trois points à 10 mètres de chaque côté de l'axe. Toutes ces indications sont portées au carnet par l'opérateur, ou son aide, qui fait, en outre, sur la feuille correspondante de chaque profil un croquis figuratif du terrain, des accidents rencontrés et des points importants à relever.

A l'emplacement des gares et stations les profils en travers sont relevés sur une largeur suffisante pour permettre l'étude de cet emplacement, soit assez généralement sur 100 mètres de chaque côté de l'axe.

Dans les pays accidentés on ne peut généralement faire au niveau d'eau qu'un profil à la fois et, encore, d'un seul côté et en plusieurs stations. Quand le terrain le permet, on

a avantage à se servir du niveau à bulle d'air et de la mire parlante, car alors, en se plaçant convenablement d'un côté, par exemple, on peut niveler plusieurs profils d'une même station, ce qui est impossible avec le niveau d'eau, attendu qu'on ne peut lire avec exactitude sur la mire à coulisse à plus de 25 à 30 mètres. Quand on emploie, dans ce cas, le niveau à bulle d'air, il n'est pas nécessaire de donner deux coups de lunette : on se contente de doubler simplement la cote lue à chaque point, pour avoir celle à inscrire au carnet. Les cotes sont calculées par rapport au plan horizontal passant par l'encoche du piquet d'axe et déterminé par le nivellement en long.

Les profils en travers sont inscrits au carnet avec la numérotation que portent les piquets d'axe correspondants du profil en long.

Rapport du profil en long. — Il est indispensable que l'opérateur calcule, chaque soir, les cotes de son carnet de profil en long, afin de vérifier ses opérations pour pouvoir les recommencer le lendemain, s'il y a lieu ; de cette façon, l'erreur étant circonscrite aux opérations d'une journée, est plus facile à retrouver et à rectifier. Ces cotes sont rapportées au niveau de la mer ou au nivellement général de la France, auquel elles sont rattachées par la cote de départ.

Le dessin du profil en long est fait, au bureau, sur un rouleau de papier sans fin de 31 centimètres de hauteur. L'échelle adoptée est généralement de 1/10000e pour les longueurs et de 1/1000e pour les hauteurs, quand il s'agit du projet de tracé et de terrassements, et de 1/5000e pour les longueurs et 1/500e pour les hauteurs quand il s'agit du projet d'exécution destiné à l'adjudication. La ligne du terrain est rapportée à une horizontale tracée en bleu à environ 8 centimètres du bord inférieur du papier ; elle doit être choisie en la supposant à une hauteur au-dessus du niveau de la mer telle qu'elle se trouve toujours en dessous, de quelques mètres, de la cote représentant le terrain dans sa partie la plus basse. Dès que la ligne du terrain atteint de trop près le bord supérieur du papier on relève la cote du plan de comparaison d'une quantité suffisante pour permettre d'en continuer le

dessin qui forme ainsi un redan avec la partie précédente, à partir du piquet où l'altitude de ce plan de comparaison a été modifiée. Cette altitude est inscrite sur l'horizontale, à l'encre bleue, autant de fois que cela est nécessaire dans le développement du profil en long avec cette indication : *horizontale à..... mètres au-dessus du niveau de la mer.* En dessous de cette ligne et sur des parallèles tracées à environ 1 centimètre, on inscrit en regard de l'ordonnée de chaque piquet et verticalement: sur la première, les cotes de la plateforme au-dessus du niveau de la mer ; sur la deuxième, les cotes du terrain naturel; et sur la troisième, horizontalement entre les ordonnées, les distances entre les piquets ; sur une quatrième ligne, leur numérotation et les distances kilométriques ; et, enfin, sur une dernière ligne, l'indication des alignements droits et des courbes.

Les routes, chemins, dessertes, sentiers, fossés, cours d'eau et ruisseaux traversés par la ligne tels qu'ils sont désignés, et avec les noms qu'ils portent au tableau de chaque commune, sont indiqués en noir sur l'ordonnée du profil qui leur correspond entre les cotes de la plateforme et la ligne du terrain naturel, sans trop s'en approcher, afin de donner moins de confusion à ces indications. Une cote en noir entre parenthèses ( ), placée près du nom de chacun de ces chemins, s'il y a lieu, indique l'altitude de la chaussée. Aux abords des rivières et cours d'eau importants, et surtout de ceux à cours variable, on indique par un trait horizontal et une cote en bleu en dessous de la ligne du terrain naturel le niveau de l'étiage, des hautes eaux et des plus hautes crues. La partie en dessus de la ligne du terrain est réservée aux indications du projet mises à l'encre rouge; on se sert à cet effet des annotations et abréviations suivantes qui sont généralement, du reste, imprimées sur le titre du profil en long :

Passages à niveau (ordinaires ou gardés). P.N.
Passages supérieurs ou en dessus de la voie. P.S.
Passages inférieurs ou en dessous de la voie... P.I.
Ponts et ponceaux, ponts métalliques..... P^t P^{ons} P.M^x
Aqueducs..... Aq.
Gares et stations.....

Les différences entre les cotes de la plateforme et celles du terrain naturel sont indiquées, en rouge, sur l'ordonnée de chaque profil, en dessus de la ligne de la plateforme pour les cotes en remblai, et en dessous pour les cotes en déblai, de façon à se trouver en dehors des teintes rouges ou jaunes indiquant les remblais ou les déblais. Enfin, à la partie supérieure du dessin, près du bord du papier, on inscrit, en les repérant aux piquets correspondants par un pointillé, les longueurs des communes traversées, des arrondissements et départements s'il y a lieu, les pentes, rampes et paliers du projet avec l'altitude des sommets de pentes ou rampes et les longueurs correspondantes.

Raccordement des pentes et rampes du profil en long. — On a vu plus haut, à propos du tracé d'avant-projet, que deux déclivités à versant différent devaient être raccordées au moyen d'une courbe de grand rayon. Il est intéressant de citer à ce sujet une instruction de M. Ruelle, directeur de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, en date du 30 août 1865 : « L'exploitation des lignes à fortes rampes a fait connaître des inconvénients assez sérieux dans les changements brusques des pentes et rampes du profil en long ; les machines basculent aux passages des angles saillants et rentrants.

« Pour faire disparaître ces inconvénients, il convient de raccorder les rampes et pentes importantes ou les paliers avec les pentes et rampes au moyen de courbes d'au moins 10.000 mètres de rayon. Ces raccordements devront être

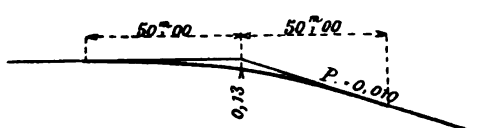


FIG. 14.

exécutés à l'avenir sur toutes les lignes nouvelles en construction ou à construire, et le niveau des terrassements devra être établi en conséquence.

« Lorsque, par exemple (*fig.* 14), un palier précédera ou suivra une pente ou une rampe de 0m,010 par mètre, la

longueur des tangentes du raccordement devra être de 50 mètres (0,005 × 10.000 mètres)[1]; le relèvement ou l'abaissement mesuré suivant la bissectrice sera de 0m,13 (c'est-à-dire le carré de l'abscisse divisé par le double du rayon).

« Pour une pente ou une rampe de 0m,015 précédant ou suivant un palier (*fig.* 15), la longueur des tangentes sera de 75 mètres, et le relèvement ou l'abaissement de 0m,28.

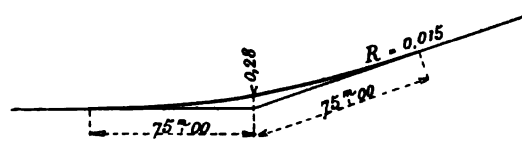


Fig. 15.

« Pour une pente ou une rampe de 0m,020 la longueur des tangentes sera de 100 mètres, et le relèvement ou l'abaissement de 0m,50.

« Les indications qui précèdent suffisent pour faire comprendre l'importance de ces raccordements et donner la longueur que devront avoir les tangentes dans chaque cas. »

Ces raccordements sont indiqués sur le profil en long du projet définitif ; les cotes en sont inscrites à chaque piquet entre parenthèses, de façon à ce qu'en cours d'exécution la plateforme des terrassements soit réglée en conséquence.

On trouvera ci-après le tableau des abaissements ou des relèvements pour les pentes ou rampes de 0m,010 à 0m,040; car on remarquera que, si on n'atteint jamais cette dernière, il peut se présenter le cas d'une rampe de 0m,010 suivie immédiatement d'une pente de 0m,020, ce qui équivaudrait à une rampe ou une pente de 0m,030 précédant ou suivant un palier.

[1] La moitié de la pente multipliée par le rayon de la courbe.

PENTES ou RAMPES	LONGUEUR des tangentes	ABAISSEMENTS ou relèvements	PENTES ou RAMPES	LONGUEUR des tangentes	ABAISSEMENTS ou relèvements
m.	mètres	m.	m.	mètres	m.
0,001	5	0,001	0,021	105	0,531
0,002	10	0,005	0,022	110	0,610
0,003	15	0,011	0,023	115	0,661
0,004	20	0,020	0,024	120	0,720
0,005	25	0,031	0,025	125	0,781
0,006	30	0,045	0,026	130	0,845
0,007	35	0,061	0,027	135	0,911
0,008	40	0,080	0,028	140	0,980
0,009	45	0,101	0,029	145	1,051
0,010	50	0,123	0,030	150	1,125
0,011	55	0,151	0,031	155	1,201
0,012	60	0,180	0,032	160	1,280
0,013	65	0,211	0,033	165	1,361
0,014	70	0,245	0,034	170	1,445
0,015	75	0,281	0,035	175	1,531
0,016	80	0,320	0,036	180	1,620
0,017	85	0,361	0,037	185	1,711
0,018	90	0,405	0,038	190	1,805
0,019	95	0,451	0,039	195	1,901
0,020	100	0,500	0,040	200	2,000

Comme on le voit, ces corrections sont parfois très importantes et peuvent avoir une influence sur la cote d'implantation des ouvrages existant sous la ligne aux abords des sommets de pentes.

Rapport des profils en travers. — Les profils en travers sont rapportés à l'échelle de $0^m,005$ par mètre $\frac{1}{200}$ sur des cahiers de 0,21 sur 0,31 ou sur un rouleau de papier sans fin de $0^m,31$ de hauteur (destiné à être plié), dont les plis de $0^m,21$ sont indiqués au crayon et sur le milieu duquel on a tracé, en traits interrompus par un pointillé, l'axe du projet. On indique par une perpendiculaire, tracée en bleu, l'axe de chaque profil ou l'horizontale lui servant de plan de comparaison.

Les cotes de chaînage entre les points nivelés sont inscrites sur cette horizontale, de chaque côté de l'axe, et les altitudes

ou cotes de ces points inscrites sur l'ordonnée correspondante. Le plan de comparaison est choisi de façon à pouvoir faire tenir, au moins, le dessin de deux profils dans chaque pli de 21 et, en tous cas, de manière à éviter de laisser chevaucher les lignes du terrain d'un profil sur l'autre.

Les profils en travers avec les dimensions du papier ne donnent le relief du terrain que sur 30 mètres de chaque côté de l'axe, ce qui est plus que suffisant pour y figurer les terrassements en voie courante ; toutefois, à l'emplacement des gares et stations, les profils sont levés sur toute la largeur nécessaire à l'étude des projets et rapportés sur des feuilles spéciales.

Le dessin des profils en travers est fait en supposant chaque profil rabattu à droite, en tournant autour de l'horizontale du piquet d'axe, de façon qu'en regardant l'ensemble de ces profils dans le sens de la ligne on les voit absolument comme si on parcourait le tracé en partant de l'origine.

Gabarits de profils en travers. — Les numéros des profils sont indiqués à l'extrémité de l'horizontale de chacun d'eux près du bord gauche du papier, en noir et par la même annotation qu'ils ont au profil en long ; entre ces profils, et sur une ligne également près du bord du papier, on inscrit la distance qui les sépare. Les cotes rouges du profil en long sont inscrites sur l'axe de chaque profil en travers, à côté de la cote du terrain, et le point indiquant la position de la plateforme en remblai ou en déblai en est marqué sur l'axe. C'est à ce point qu'on applique le gabarit des terrassements d'après le type de voie adopté pour la ligne et préalablement dessiné sur une feuille de carton mince que l'on découpe soigneusement en suivant les lignes de la plateforme et des talus en remblai ou en déblai (*fig.* 16).

Gabarits de profils en travers

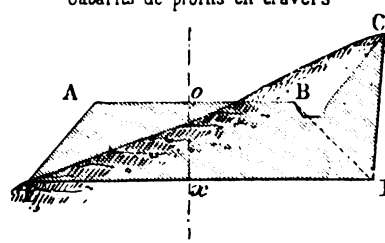


Fig. 16.

La largeur de la plateforme supposée horizontale est respectivement fixée à 6 mètres et $9^{m},60$ en remblai, et à $9^{m},60$ et $11^{m},60$ en déblai, pour les lignes à une ou deux voies.

Pour les chemins de fer à voie étroite, généralement voie de 1 mètre, la largeur de la plateforme est ordinairement de 4 mètres ; tels sont la plupart des tramways départementaux, notamment ceux de la Côte-d'Or.

Selon qu'il s'agit de l'un ou de l'autre type, on prépare ainsi trois gabarits : un, entièrement en remblai ABDE ; un deuxième, mi-partie en remblai et mi-partie en déblai ABCDE, et, enfin, un troisième complètement en déblai.

Par le point *o*, milieu de la plateforme, on indique, d'une façon très apparente, la ligne *ox* correspondant à l'axe du tracé et permettant d'appliquer ainsi ce gabarit parfaitement au point et normalement à cet axe.

Après avoir teinté en rose ou jaune pâle les remblais ou les déblais, on en calcule les surfaces à droite et à gauche de l'axe de chaque profil, et on en inscrit le résultat en regard (sur la minute du projet seulement) avec la mention S. R. ou S. D. (surface remblai ou surface déblai) = ...

Dans l'étude des projets de traversées et de déviations, où les terrassements atteignent ou dépassent 1 mètre de hauteur,

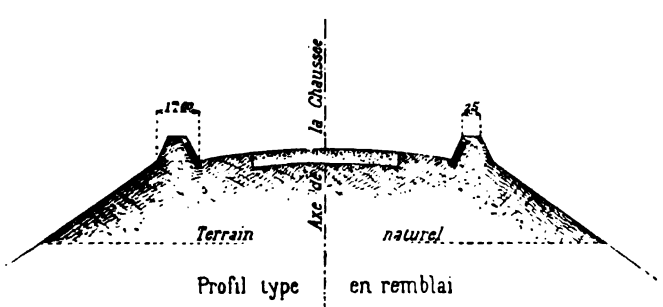


Fig. 17.

et partout où cela peut paraître nécessaire, on prévoit une banquette de sûreté de chaque côté de l'accotement du chemin.

Cette banquette (*fig.* 17) a ordinairement 1 mètre de largeur

à sa base, 25 centimètres en couronnement, et 45 à 50 centimètres de hauteur ; elle est faite en terre pilonnée, retenue le plus souvent à la partie antérieure (côté de l'axe du chemin) par un moellon brut de 35 à 40 centimètres de hauteur et 15 d'épaisseur, coupé aussi régulièrement que possible, posé sur champ et incliné à 45° au plus. La partie extérieure de la banquette est réglée à 45° et se raccorde avec le talus à 6/4 du remblai. Les terrassements de ces traversées et déviations sont ajoutés à ceux du projet de la ligne principale et sont indiqués également au mouvement des terres.

Plan et profils à l'emplacement des stations. — On connaît par l'avant-projet l'emplacement des gares et stations à établir. On relève pour chacune d'elles un plan détaillé sur l'étendue nécessaire à l'étude des dispositions à adopter. Les profils en travers de la ligne sont relevés dans ces emplacements sur une largeur de 100 mètres de chaque côté de l'axe. Si ces profils ne suffisent pas pour donner le relief du terrain et permettre d'établir un plan coté complet, on y supplée par des cotes prises en nombre suffisant ou par des profils en travers intercalés entre ceux du projet en des points repérés au plan.

Ces opérations sont rapportées sur une feuille spéciale à chaque gare. Le plan est fait à l'échelle de $0^{m},001$ par mètre ; on y indique l'axe de la ligne, le piquetage et toutes les cotes de nivellement permettant d'étudier les installations à projeter. Une fois que les dispositions du projet, d'abord figurées au crayon, ont été arrêtées définitivement au plan, tant au point de vue des voies que des aménagements des diverses installations, on complète les profils en travers par l'indication des terrassements résultant de l'implantation des bâtiments, quais, trottoirs et dispositions des voies, aux abords des cours, en tenant compte, sur le dessin de ces profils, des épaisseurs du ballast de ces voies ou de l'empierrement des cours des voyageurs ou des marchandises.

Ce plan d'étude reste comme minute au bureau du chef de section ou de l'ingénieur ; une expédition du plan seulement est jointe au dossier d'exécution, ainsi qu'au dossier C destiné à l'enquête sur l'emplacement des stations.

Plans et profils en travers à l'emplacement des ouvrages d'art. — Pour tous les ouvrages d'art indistinctement à construire à la traversée ou à la déviation des routes, chemins et cours d'eau, il est nécessaire de relever un plan à l'emplacement de l'ouvrage projeté, sur une longueur suffisante et avec des profils en travers ou des cotes assez rapprochées pour avoir aussi exactement que possible le relief du terrain.

Pour les cours d'eau on a soin de prendre les cotes du fond du lit, celles des berges et des abords du pont à construire.

Pour les passages à niveau et les déviations des routes et chemins, on a soin de prendre des cotes sur l'axe de la chaussée, au pied et au sommet des talus; on relève, s'il en est besoin, quelques profils en travers correspondant aux points pris sur l'axe et s'étendant à 15 ou 20 mètres de chaque côté.

Ces opérations sont consignées sur un carnet spécial intitulé : *Plans cotés des ouvrages d'art et déviations;* elles sont ensuite rapportées sur une feuille spéciale à chaque ouvrage; chaque feuille est pliée au format de $0^m,21$ sur $0^m,31$. Le dessin est disposé de manière à présenter d'abord le plan général des lieux (l'axe du tracé occupant en général le milieu de la feuille horizontalement) à l'échelle de $0^m,002$ par mètre, avec l'indication des piquets d'axe, des terrassements, du ballast et des voies.

Les détails des ouvrages d'art, aqueducs ou ponceaux tels que plans des fondations, coupes et élévations, sont indiqués à la suite, à l'échelle de $0^m,02$ par mètre. Pour les ouvrages de grande importance, et en raison même de leurs dimensions, ces détails sont faits à l'échelle de $0^m,001$ par mètre.

Pour les passages à niveau, le plan général est complété par l'indication des chemins rencontrés avec la figuration de leurs terrassements, talus et tranchées, et de toutes les cotes des profils en travers levés pour permettre l'étude de la traversée ou de la déviation projetée. A la suite du plan général coté on dispose, à la partie supérieure du papier, le profil en long du chemin actuel et, immédiatement en dessous, le même profil (quand c'est une rectification sur place) ou le profil de la déviation avec les dispositions projetées pour les pentes et rampes et autres détails de cette déviation.

Enfin on indique les profils en travers qu'on a pu lever, ainsi que les profils types à adopter avec la configuration de la chaussée et l'épaisseur de l'empierrement dans chaque cas. L'échelle adoptée est de $0^m,001$ pour les longueurs du profil en long et de $0^m,005$ pour les hauteurs; le dessin des profils en travers est fait à l'échelle de $0^m,005$.

Sondages. — Pour compléter l'étude du projet définitif, il est indispensable de connaître aussi exactement que possible la nature du terrain rencontré dans les tranchées importantes et à l'emplacement des principaux ouvrages d'art. Pour cela il est nécessaire de faire exécuter des sondages sur chaque rive des cours d'eau traversés ou sur chaque bord d'une vallée que doit franchir un viaduc, afin de se rendre compte des couches sur lesquelles on pourra établir les fondations. Pour chaque tranchée on fait ordinairement creuser une ou deux fouilles ou puits, que l'on descend jusqu'au niveau de la plateforme donnée par la cote du profil en long. On donne généralement à ces puits une section de 1 mètre à $1^m,20$ au carré ; les parois en sont tenues verticales sur trois de leurs faces, autant que le permettent, du reste, la nature et la solidité du terrain; ces parois sont blindées, s'il est nécessaire, pour éviter les éboulements ; la quatrième paroi est inclinée et taillée en escalier ou gradins de $0^m,60$ à $0^m,80$ de hauteur et de largeur pour pouvoir accéder au fond et en retirer les déblais au moyen de jets à la pelle successifs.

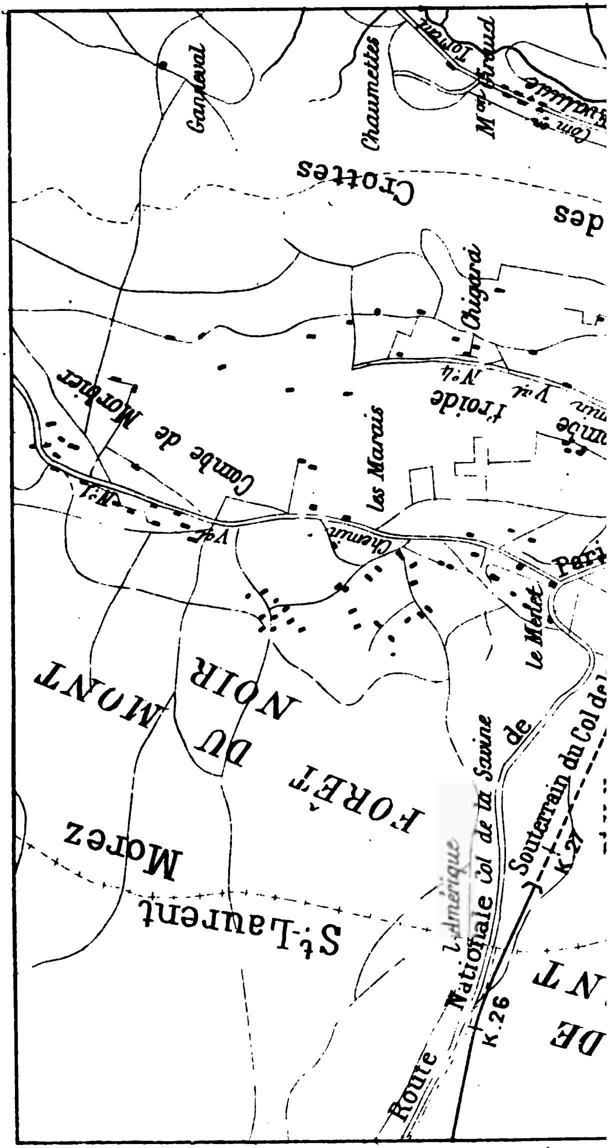
Les terres provenant de ces puits sont relevées en cavalier autour de l'ouverture qui est protégée, en outre, par une clôture solide, afin d'éviter que des hommes ou des bestiaux puissent tomber dans la fouille.

On note avec soin la position de chaque sondage, celle des différentes couches de terrain, leur direction, leur épaisseur, leur composition, et on conserve au besoin des échantillons des diverses natures de terres rencontrées, que l'on place dans des caisses à compartiments, avec les annotations nécessaires.

On rapporte ensuite les résultats de ces sondages sur une feuille de dessin du format de 21 sur 31, à l'échelle de $0^m,01$ par mètre ; ce dessin indique : la position de chaque sondage, les couches rencontrées dans leur ordre successif et séparées

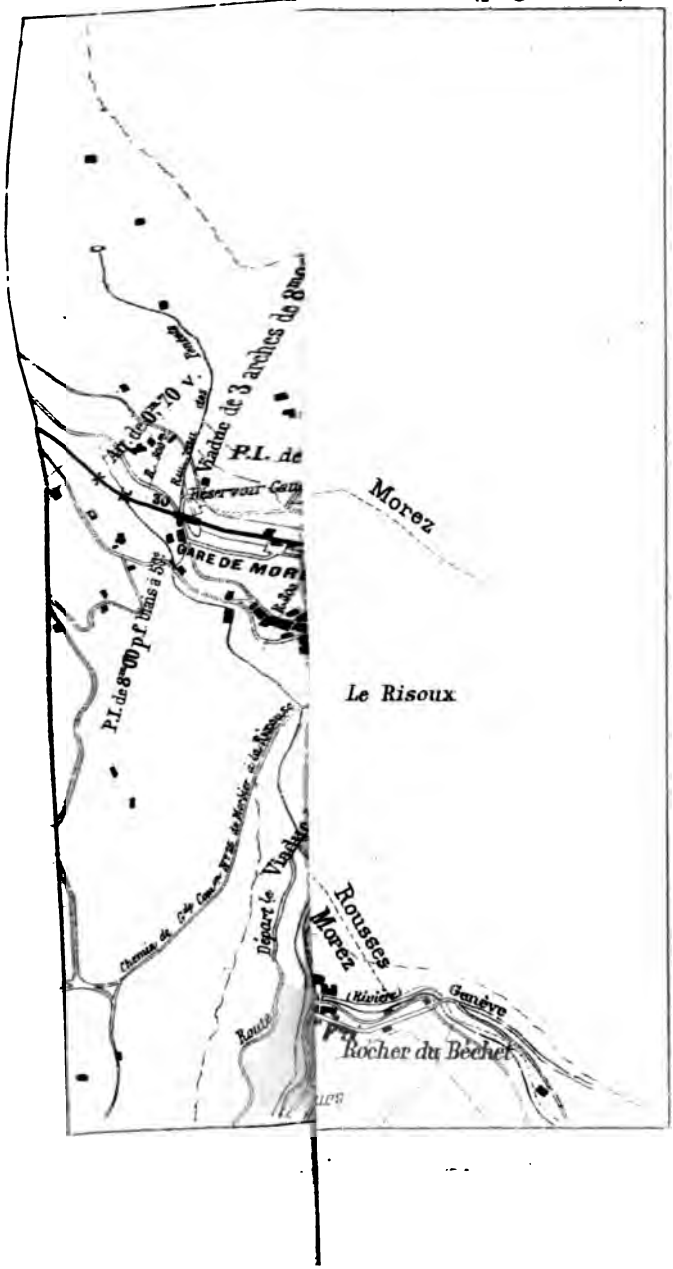
PR

Plan



Gandeval
Chaumettes
Crottes
des
Chigard
Froide
Combe de Morbier
les Marais
Chemin
FORÊT DU MONT NOIR
Morez
St-Laurent
Route Nationale Col de la Savine
Souterrain du Col de la
K.26
K.27
DE

PL. II (page 60²)



PL. III (page 60[3])

1323 m, 50

par un trait horizontal avec leur épaisseur cotée et la désignation de leur nature; puis, en regard de ces indications et séparée par un trait vertical, une teinte spéciale représente chacune de ces couches. Une copie de ce dessin est adressée à l'ingénieur avec la caisse contenant les échantillons des terrains provenant de ces sondages.

Telles sont, à peu près, toutes les opérations sur le terrain qui servent à déterminer ensuite par un travail de bureau les éléments nécessaires à la rédaction des pièces composant les dossiers à adresser à l'Administration supérieure et dont les deux principaux sont relatifs au *Projet de tracé et de terrassements* et au *Projet d'exécution*.

On en trouvera ci-après la composition.

Dossier B. — Projet de tracé et de terrassements

N°s des pièces	DÉSIGNATION DES PIÈCES	OBSERVATIONS
1	Carte au 1/80000e.	NOTA. — Dans certains services on fait servir ce dossier aux études préliminaires à l'enquête des stations et à l'enquête parcellaire. On ne le soumet pas à l'Administration s'il y a accord complet ou adhésion de tous les services intéressés et sous la réserve que les estimations de l'avant-projet ne seront pas dépassées. On s'en sert alors en modifiant le titre en: *Projet définitif du tracé*, comprenant l'emplacement des stations et des ouvrages d'art, avec les pièces 1, 2 et 4 (qui devient n° 3), 5, 6 (devenues 4, 5); 6 : procès-verbal de conférences ou adhésion écrite des services intéressés en ce qui concerne le tracé et les terrassements; 7 : rapport des ingénieurs. Alors pour l'adjudication on y ajoute les pièces du dossier E, à partir du n° 5; 6 : ouvrages d'art; 7, 8, 9, 10, 11 : procès-verbaux de conférence, ou adhésion des services intéressés en ce qui concerne le dispositif des ouvrages d'art; et 12 : rapport des Ingénieurs. NOTA. — Les planches, I II, III, donnent les dispositions des pièces 1, 2 et 4 ci-dessus.
1e	Plan d'ensemble au 1/40000e avec courbes de niveau.	
2	Plan au 1/10000e.	
3	Profil en long d'ensemble au 1/40000e pour les longueurs et au 1/200e pour les hauteurs.	
4	Profil en long au 1/5000e pour les longueurs et au 1/1000e pour les hauteurs.	
5	Profils en travers types au 1/100e (hauteurs et longueurs).	
6	Profils en travers spéciaux au 1/200e (hauteurs et longueurs).	
7	Devis descriptif.	
8	Avant-métré des terrassements.	
9	Bases d'estimation des ouvrages.	
10	Estimation sommaire de la dépense.	
11	Procès-verbal de conférence entre les services intéressés.	
12	Rapport des Ingénieurs.	

Dossier E. — Projet d'exécution

N°s des PIÈCES	DÉSIGNATION DES PIÈCES	OBSERVATIONS
1	Extrait de la carte au 1/80000e.	[1] Les pièces n°s 5, 11 et 12 ne font pas partie du dossier d'adjudication.
2	Plan au 1/10000e.	
3	Profil en long au 1/5000e (longueurs) et 1/500e (hauteurs).	
4	Profils en travers types au 1/100e (longueurs et hauteurs).	
5[1]	Profils en travers principaux avec indication des sondages au 1/200e (longueurs et hauteurs).	
6	Ouvrages d'art.	
7	Avant-métré (terrassements et ouvrages d'art).	
8	Bordereau des prix.	
9	Détail estimatif.	
10	Devis et cahier des charges.	
11[1]	Procès-verbal de conférence avec les services intéressés.	
12[1]	Rapport des ingénieurs.	

AVANT-MÉTRÉ

Parmi les pièces écrites d'un projet et sur lesquelles il sera donné quelques détails on peut citer : l'*Avant-métré des terrassements et ouvrages d'art* et le *Bordereau des prix*.

Le premier élément de l'avant-métré résulte de la détermination du cube des terrassements à exécuter. Il existe pour cela deux méthodes : la *méthode exacte*, ou *dite exacte*, et les *méthodes expéditives*.

Calcul des terrassements. — La méthode *dite exacte* n'est presque jamais employée, car elle conduirait à des calculs très longs et très minutieux pour les déterminations des points de passage du déblai au remblai, des distances exactes

applicables aux surfaces diverses de chaque profil et la décomposition des figures géométriques correspondantes.

Les méthodes *expéditives* usitées le plus souvent sont :

1° La méthode de la moyenne des aires ;

2° La méthode des sections moyennes.

1° La méthode de la MOYENNE DES AIRES peut présenter les cinq cas suivants :

PREMIER CAS. — *Les deux profils consécutifs étant tous les deux en remblai ou en déblai.* — En désignant les surfaces des

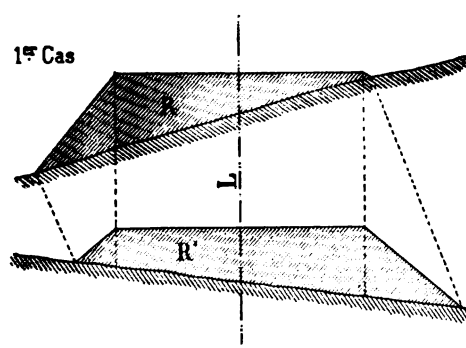


FIG. 18.

deux profils ci-contre (en remblai) par R et R' (*fig.* 18) et la longueur entre profil par L, on aura :

$$V = \frac{R + R'}{2} \times L.$$

On aurait de même en déblai :

$$V = \frac{D + D'}{2} \times L.$$

DEUXIÈME CAS. — *L'un des profils est en remblai ou en déblai, et l'autre en déblai ou en remblai.* — Soient les deux profils D et R (*fig.* 19).

Au moyen des surfaces D et R, on calcule la ligne de pas-

sage *pp'*, dont l'intersection sur l'axe détermine le point qui divise l'entreprofil en deux parties *l* et *l'* proportionnelles à ces surfaces, et auquel on suppose appliqué un profil fictif

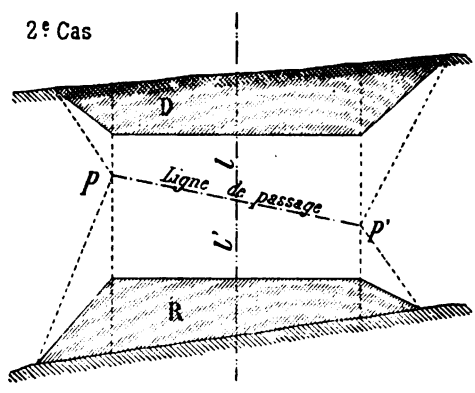


Fig. 19.

P, égal à zéro, avec lequel on moyenne la surface de chacun des profils considérés. On a comme précédemment :

$$V = \frac{D + P}{2} \times l$$

et :

$$V' = \frac{R + P}{2} \times l'$$

ou P étant nul :

$$V = \frac{D}{2} \times l$$

et :

$$V' = \frac{R}{2} \times l'.$$

Troisième cas. — *L'un des profils est en déblai ou en remblai, et l'autre à la fois en déblai et en remblai.* — Soient les

deux profils R et D (*fig.* 20), ce dernier partie en remblai et partie en déblai. Par le point de passage *p* du déblai au remblai du profil D, on mène une parallèle *op* à l'axe du projet, divisant ainsi le profil R en deux parties R et R′ correspondant chacune aux parties R″ et D du profil mixte, avec

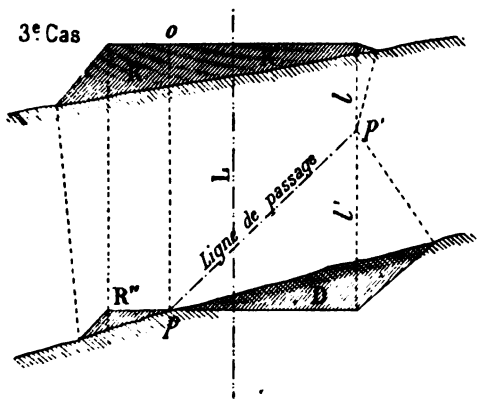


Fig. 20.

lesquelles elles se moyennent d'après l'exemple des premier et deuxième cas ci-devant. Les surfaces R′ et D nous servent à déterminer la ligne de passage *pp′* divisant l'entre-profil L en deux parties *l* et *l′* proportionnelles à ces surfaces. Nous avons, comme dans le premier cas, pour les remblais :

$$V = \frac{R + R''}{2} \times L,$$

et, comme application du deuxième cas, pour les remblais :

$$V = \frac{R'}{2} \times l$$

et pour les déblais :

$$V' = \frac{D}{2} \times l'.$$

Quatrième cas. — *Les deux profils consécutifs étant à la fois en remblai et en déblai, la partie en déblai de l'un correspondant au déblai de l'autre.*

La ligne de passage est déterminée par les points *p* et *p'* (*fig.* 21), on obtient ainsi deux parties de profils tombant

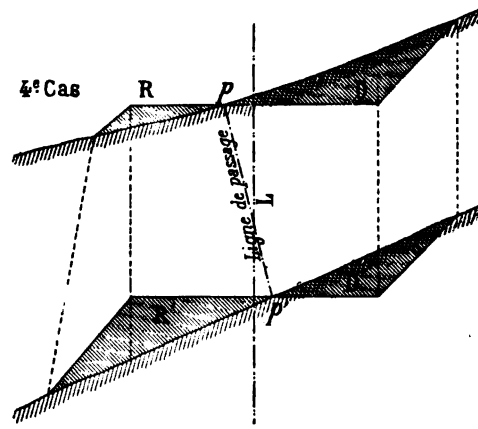


Fig. 21.

sous l'application du premier cas; on a donc pour les remblais :

$$V = \frac{R + R'}{2} \times L.$$

et pour les déblais :

$$V' = \frac{D + D'}{2} \times L.$$

Cinquième cas. — *Les deux profils étant à la fois en remblai et en déblai, le remblai de l'un correspondant au déblai de l'autre, et inversement* (*fig.* 22).

Pour chacune des parties D et R du premier profil, on calcule les points de passages *p* et *p'* des surfaces correspondant aux parties R' et D' du deuxième; ces points déterminent pour chaque profil des longueurs *ll'* et *l''l'''*, applicables à cha-

cune de ces surfaces. La réunion des lignes de passage détermine une zone *opo'p'*, où les terrassements sont nuls. On a, comme pour le deuxième cas :

$$V = \frac{D}{2} \times l$$

$$V' = \frac{R'}{2} \times l'$$

$$V'' = \frac{D'}{2} \times l''$$

$$V''' = \frac{R}{2} \times l'''$$

Les résultats de ces calculs sont inscrits habituellement

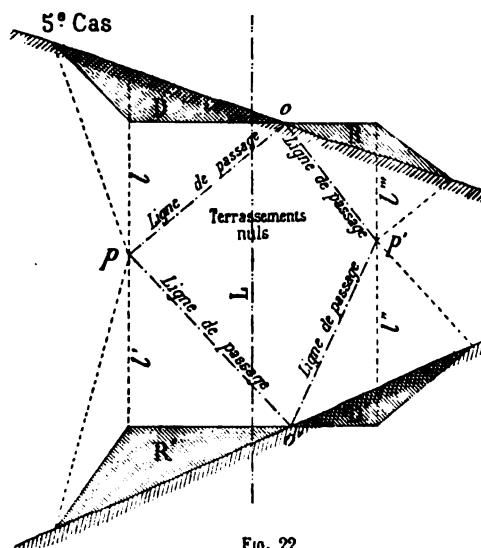


Fig. 22

sur des imprimés dont les en-têtes ne sont pas partout les mêmes, mais diffèrent très peu et qu'on approprie facilement au mode de calcul adopté.

2° Méthode des sections moyennes. — Cette méthode consiste à appliquer à la surface de chaque profil la demi-somme des longueurs des entreprofils précédent et suivant, en ayant soin de déterminer les longueurs applicables dans chaque cas proportionnellement à chacune de ces surfaces. Quand un profil en remblai ou en déblai est suivi immédiatement d'un profil entièrement en déblai ou en remblai, on calcule, comme on l'a vu précédemment, un point de passage où l'on suppose un profil fictif *o* auquel on applique la demi-somme des distances qui le séparent des profils considérés.

On procède de la même manière si l'une des parties d'un profil se trouve en remblai, par exemple, et que l'autre soit en déblai. Le résultat obtenu est, du reste, sensiblement le même qu'avec la méthode précédente.

Dans l'Administration des Ponts et Chaussées, on emploie généralement la méthode des sections moyennes, en se contentant toutefois *de multiplier les surfaces de chaque profil par la demi-somme des longueurs des entreprofils précédent et suivant, en ne considérant que les points de passage du profil en long comme donnant lieu à un profil zéro dont on tient compte pour l'application des longueurs correspondantes.* A un profil partie en déblai et remblai suivi immédiatement d'un profil en remblai, ou inversement, on applique la demi-somme des entreprofils correspondants, sans calculer de point de passage pour chacune des surfaces en déblai ou en remblai de ce profil. On trouvera ci-après le type de la formule administrative, avec la disposition habituelle des calculs, dont l'emploi n'exige, du reste, aucune instruction spéciale.

N° 1. — Tableau des calculs des terrassements quand il n'y a qu'une nature de déblais

NUMÉROS des profils	LONGUEURS auxquelles s'appliquent les profils	DÉBLAIS — SURFACES à gauche de l'axe	DÉBLAIS — SURFACES à droite de l'axe	DÉBLAIS — SURFACES totales par profil	DÉBLAIS — CUBES	REMBLAIS — SURFACES à gauche de l'axe	REMBLAIS — SURFACES à droite de l'axe	REMBLAIS — SURFACES totales par profil	REMBLAIS — CUBES	INDICATIONS SOMMAIRES DES CALCULS particuliers à certains profils — OBSERVATIONS
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0		Origine de la section.								
135	25 »	»	»	»	»	3,59	3,35	6,94	173m3,50	
a	50 »	»	»	»	»	4,71	4,38	9,09	454 ,50	
136	48,15	»	»	»	»	1,36	1,48	2,84	136 ,75	
passage	50 »	»	»	»	»	»	»	»	»	
137	51,85	9,90	9,75	19,65	1.018m3,85	»	»	»	»	
a	37,50	12,40	10,40	22,80	855 »	1,00	2,32	3,32	124 ,50	
b	25 »	0,99	»	0,99	24 ,75	5,74	7,79	13,53	338 ,25	
138	50 »	0,12	0,47	0,59	29 ,50	7,41	8,61	16,02	801 ,00	
a	50 »	2,15	1,86	4,01	200 ,50	»	»	»	»	
		Totaux.....			2.128m3,60				2.028m3,50	

Classification des déblais. — Pour les cas les plus ordinaires, et surtout quand les terres n'offrent pas une différence notable au point de vue de la nature géologique et de la difficulté de la fouille, on n'établit qu'une seule catégorie de déblais et, par suite, un prix unique. Mais il se présente des cas où, pour des projets importants, il y a lieu néanmoins d'établir une classification des déblais qu'on prévoit ou qu'on peut prévoir rencontrer en cours d'exécution; on se sert alors d'un imprimé ou formule spéciale, tableau n° 2 de l'Administration. Les dix premières colonnes sont exactement les mêmes qu'au tableau n° 1; on ajoute cinq ou six colonnes pour la classification des diverses natures de terres; le total des cubes de ces colonnes doit donner exactement celui des déblais de la colonne 5.

Mouvement des terres. — Après avoir déterminé, par l'un des procédés indiqués ci-dessus, le cube total des terrassements, il reste à faire la répartition des terres à déplacer, à régler l'emploi des déblais et le moyen de pourvoir à l'exécution des remblais prévus. C'est ce qui constitue le *mouvement des terres* et, par suite, fixe la détermination de la distance moyenne du transport et du prix qu'il convient de lui appliquer.

TRANSPORTS

Les transports se font généralement :

A la brouette;

Au tombereau;

Au vagon à traction de chevaux ou au moyen de locomotive.

Le transport à la brouette n'est guère employé sur les travaux de chemins de fer que pour l'amorce des terrassements des deux côtés d'un point de passage, pour l'installation d'un chantier, la reprise ou le remaniement des terres autour des maçonneries des ouvrages d'art, ou l'établissement des déviations des routes et chemins; en général, il est usité pour les distances de transport inférieures à 100 mètres. Le transport au tombereau est employé pour tous les terrassements à

effectuer à des distances de 100 à 800 mètres ; le transport au vagon à traction de chevaux ou de locomotive pour les distances de 800 mètres et au dessus sur des chantiers importants et dans des circonstances qui seront indiquées plus loin.

Ces considérations servent de guide dans la façon d'établir le tableau du mouvement des terres en indiquant l'attribution à faire de chaque cube à la nature du transport qui lui est appliqué.

On trouvera ci-après la formule adoptée par l'Administration, avec l'indication des opérations relatives aux cubes qui nous sont fournis par l'avant-métré qui précède.

Numéros des profils	Cubes des déblais pour chaque profil	Foisonnement	Cubes définitifs des déblais	Cubes des remblais pour chaque profil	Cube à employer dans la longueur correspondant à chaque profil	EXCÈS DES CUBES des déblais sur les remblais		EXCÈS DES CUBES des remblais sur les déblais	
						par profil	par suite non interrompue de profils	par profil	par suite non interrompue de profils
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
135	»	»	»	173,50	»	»	»	173,50	
135a	»	»	»	454,50	»	»	»	454,50	764,75
136	»	»	»	136,75	»	»	»	136,75	
137	1.018,85	»	1.018,85	»	»	1.018,85			
							1.749,35		
137a	855 »	»	855 »	124,50	124,50	730,50			
137b	24,75	»	24,75	338,25	24,75	»	»	313,50	313,50
138	29,50	»	29,50	801 »	29,50	»	»	771,50	771,50
138a	200,50	»	200,50	»	»	200,50	200,50		
	2.128,60	»	2.128,60	2.028,50	178,75	1.949,85	1.949,85	1.849,75	1.849,75

1 En cas de transport au vagon, l'imprimé, réduit par notre cadre restreint, donne,

DÉBLAIS en excès		Emprunts pour remblais	INDICATION des lieux d'emploi ou de dépôt des déblais en excès	Distance de transport	TRANSPORT I			
					à la brouette		au tombereau	
A porter en remblais sur le chemin de fer	A porter en dépôt ou réservés				Cubes	Produits des cubes par les distances	Cubes	Produits des cubes par les distances
11	12	13	14	15	16	17	18	19
				mètres				mèt. cubes
136.75	»	»	au piquet 136	100	»	»	136,75	13.675
454.50	»	»	— 135a	150	»	»	454,50	68.175
173,50	»	»	— 135	200	»	»	173,50	34.700
154 »	»	»	— 138	100	»	»	154 »	15.400
	100,10	»	terrains voisins	35	100,10	3.503,50	»	»
313,50	»	»	au piquet 137b	25	313,50	7.837,50	»	»
417 »	»	»	— 138	50	417 »	20.850 »	»	»
200,50	»	»	au piquet 138	75	200,50	15.037,50	»	»
1.849,75	100,10	»			1.031,10	47.228,50	918,75	131.950

du reste, deux colonnes de plus disposées à cet effet.

Voici quelques explications sur la façon de remplir ce tableau. Il faut avoir soin d'abord de ne pas trop serrer les écritures, en face des profils des déblais en excès, de manière à inscrire facilement en regard l'emploi des cubes à utiliser en remblai.

Les colonnes 1, 2, 3, 4, 5 se remplissent au moyen des chiffres donnés par l'avant-métré; toutefois, on ne tient généralement pas compte du foisonnement des déblais, attendu que cet excès de volume se trouve réduit naturellement par le tassement produit par le temps et la circulation du matériel servant aux transports. La colonne 3 n'est donc jamais remplie, et l'on se contente de reporter dans la colonne 4 les chiffres de la colonne 2.

Les cubes à porter dans la colonne 6 sont, pour chaque profil, le plus petit des deux cubes de déblais et de remblais (colonnes 4 et 5); la différence de ce cube avec le plus grand est portée dans l'une des colonnes 7 ou 9. On admet que les cubes de la colonne 6 correspondent à des emplois faits dans l'entreprofil même au moyen d'un simple jet de pelle, lors même qu'on aurait fait usage de la brouette, c'est-à-dire qu'on considère chaque portion de remblai comme formée avec la partie la plus voisine du déblai disponible du même profil. C'est ce qui constitue le *transport au jet de pelle* pour lequel un prix spécial est fixé au bordereau.

Lorsque plusieurs profils consécutifs présentent une série non interrompue de cubes en excès, soit en déblai, soit en remblai, on en fait la somme dans les colonnes 8 ou 10; c'est sur les cubes totaux ainsi obtenus que s'opère la distribution indiquée dans les colonnes 11, 12 et 13. On a prévu dans la douzième le cas où une partie des matériaux provenant des déblais devrait être employée dans la construction de la chaussée de certains chemins ou des ouvrages d'art.

La colonne 14 indique : les profils sur lesquels les déblais en excès doivent être transportés, les lieux où ils seront déposés dans le cas où ils ne trouveraient pas d'emploi en remblai, ou bien dans le cas où cet emploi sur le chemin de fer serait plus dispendieux que des emprunts; enfin, elle indique aussi l'usage auquel sont destinés les déblais réservés.

On inscrit dans la colonne 15, au droit de chacun des

cubes compris dans les colonnes 11, 12 et 13, la distance à laquelle ils doivent être transportés, en ayant égard, s'il y a lieu, à la hauteur à laquelle il sera nécessaire de les élever. Cette distance détermine leur classement définitif parmi les cubes à transporter à la brouette, au tombereau ou au vagon, et leur inscription dans les colonnes 16, 18 ou 20.

On inscrit, dans les colonnes 17, 19, 21, le produit des cubes par les distances, c'est-à-dire les *moments de transport*. C'est le total de ces colonnes qui, divisé par les cubes correspondants des colonnes 16, 18 et 20, donne la distance moyenne de chacun de ces transports, que l'on introduit dans les formules servant à la détermination des prix à payer à l'entrepreneur.

Le tableau du mouvement des terres étant rempli, d'abord jusqu'à la colonne 10, il s'agit de faire la répartition des déblais. Cette partie du travail nécessite une grande attention, beaucoup d'ordre et des notes pour se rendre compte à chaque instant, notamment, après la moindre interruption de travail, des portions de cubes restant à employer sur tel profil ou de celles restant à remblayer. On a recours à cet effet au profil en long que l'on doit avoir constamment sous les yeux.

Tableau mnémonique.— On peut encore employer un moyen graphique ou plutôt mnémonique, fort simple. On dispose

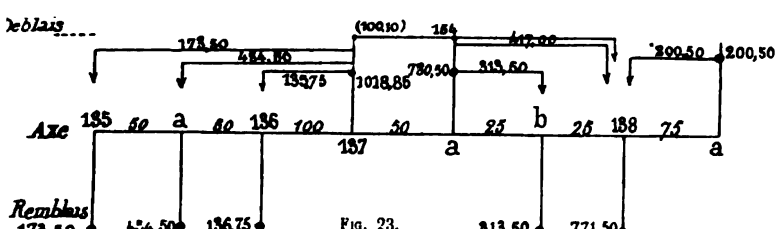


FIG. 23.

sur le milieu d'une feuille de papier sans fin, de 0m,15 à 0m,20 de hauteur, la ligne d'axe avec les piquets et leurs distances, une façon de plan de piquetage, non à l'échelle, mais en espaçant simplement les piquets de 0m,02 environ (*fig.* 23). Une

ordonnée est tracée à chaque piquet, de 2 centimètres environ, en haut de la ligne d'axe pour les déblais et en bas pour les remblais, avec indication, à l'extrémité de chacune d'elles du cube des déblais ou des remblais des colonnes 7 et 9 du tableau du mouvement des terres. On voit ainsi d'un simple coup d'œil les déblais à prendre à tel profil pour les employer, à la plus courte distance, à tel autre profil, sans s'exposer à inscrire au mouvement des terres un transport qui ne peut s'effectuer réellement qu'après avoir remblayé un piquet intermédiaire.

Supposons qu'on ait les cubes suivants:

Piquets			
135 :	remblais.....	173,50	
135[a]	—	454,50	764[m],75
136	—	136,75	
137 :	déblais	1018,85	
137[a]	—	730,50	
137[b] :	remblais.....	313,50	
138	—	771,50	1085,00
138[a] :	déblais	200,50	

On commence par indiquer au moyen d'une flèche et comme pris au profil 137 : 136[m3],75 à conduire au piquet 136; 454[m3],50 au piquet 135[a], et 173[m3],50 au piquet 135. On note le reste du cube à employer après ce prélèvement, pour s'en servir ultérieurement (1018,85 — 764,75 = 254,10). On voit ensuite que l'on aura avantage à utiliser à, la distance de 75 mètres au piquet 138, les déblais du profil 138[a], plutôt que d'amener à 100 mètres les 254[m],10 restant du profil 137; il ne reste au piquet 138 que 771[m],50 — 200,50 = 571,00; on prend au profil 137[a] : 313[m3],50, que l'on transporte au profil 137[b], et les 417 mètres cubes qui restent pour les transporter au piquet 138; il reste à remblayer à ce piquet 154 mètres cubes que l'on prend au profil 137. Les remblais sont ainsi tous exécutés, et il reste, au point 137, 100[m3],10 de déblais en excès que l'on suppose mis en dépôt sur les terrains voisins et transportés à la brouette à 35 mètres. On barre successivement par un trait les chiffres indiquant les cubes de déblais utilisés ou les remblais effectués au fur et à mesure de l'emploi; on

ne laisse (.....) que l'excédent à employer ou à remblayer, ce qui permet d'interrompre son travail, et de le reprendre à volonté sans s'exposer à omettre un cube quelconque dans le tableau du mouvement des terres. On a ainsi tous les éléments pour continuer les inscriptions dans les colonnes 14, 15, 16 et 18; on achève ensuite les opérations des colonnes 17 et 19, et on arrête enfin les totaux. Le total des colonnes 11, 12, doit être égal à celui de la colonne 8, de même qu'à ceux des colonnes 16 et 18. On peut alors déterminer la distance moyenne des transports qui est :

Pour la brouette :

$$\frac{47228{,}50}{1031{,}10} = 45^{m},80, \text{ soit } 46 \text{ mètres};$$

pour le tombereau :

$$\frac{131950}{908{,}70} = 143^{m},60, \text{ soit } 144 \text{ mètres.}$$

Ce sont ces distances que l'on introduit dans les formules qui servent à déterminer les prix de chacun de ces transports.

Transport à la brouette. — La forme de la brouette varie suivant les localités, et sa contenance est ordinairement comprise entre $\frac{1}{25}$ et $\frac{1}{30}$ de mètre cube ($0^{m3},04$ et $0^{m3},0333$). On admet généralement qu'un ouvrier rouleur peut transporter, dans une journée de dix heures, le contenu de sa brouette à une distance de 15.000 mètres, ce qui, avec le retour à vide, lui constitue un parcours journalier de 30.000 mètres. On admet également qu'un ouvrier chargeur peut prendre à la pelle et charger en brouette 10 mètres cubes de terre ordinaire dans la même durée de dix heures de travail.

Pour la bonne répartition du travail sur le chantier, il faut nécessairement, pendant que le chargeur remplit une brouette, que le rouleur ait effectué son parcours avec la sienne moitié en charge, moitié à vide; ce parcours doit donc

être réglé en conséquence, c'est ce qui constitue un relais. L'expérience a démontré qu'avec une brouette de $\frac{1}{25}$ de mètre cube ce relais doit être de 40 mètres, et qu'il est de 33 mètres environ avec une brouette de $\frac{1}{30}$ de mètre cube. Elle fait voir, en outre, que, ces relais étant fixés, un ouvrier occupé à ses pièces, ou en tâche, doit trouver avantageux de charger beaucoup sa brouette ; il fait ainsi moins de voyages et, par suite, un parcours moins long pour transporter le même cube, sans que la difficulté de roulage soit sensiblement augmentée. Pour des raisons semblables, celui qui paye a intérêt à faire employer de grandes brouettes, car, les longueurs des relais augmentant dans les mêmes proportions, le travail produit est plus considérable sans augmentation notable dans la difficulté ni dans les prix des relais.

Prix de revient d'un mètre cube transporté a la brouette. — Le prix de revient d'un mètre cube de déblai transporté à la brouette est donné par la formule suivante, adoptée par l'Administration des Ponts et Chaussées dans la rédaction de ses bordereaux de prix, savoir :

$$x = \frac{p2D}{L.C.}$$

dans laquelle :

p représente le prix de la journée d'un ouvrier terrassier, variable par conséquent suivant la localité ;

D, la distance de transport (moyenne du mouvement des terres) ;

L, la distance moyenne parcourue par un ouvrier rouleur marchant sans interruption pendant une journée de dix heures, en faisant la moitié du trajet à charge, et l'autre moitié à vide ;

C, le cube du chargement de la brouette.

Si l'on admet que le prix de la journée de terrassier est de 3 fr. 25, la capacité de la brouette de $\frac{1}{30}$ de mètre cube, et les autres quantités celles indiquées précédemment, la formule

devient :

$$x = \frac{6{,}50 \times 46}{30000 \times \frac{1}{30}} = 0 \text{ fr. } 299, \text{ soit } 0 \text{ fr. } 30,$$

pour prix du transport d'un mètre cube à 46 mètres, ce qui constitue un relais un peu fort mais néanmoins admissible en exécution. L'expression de ce prix en fonction de D est : 0,0065D.

Quand la distance de transport dépasse notablement un relais, il y a lieu d'ajouter un rouleur ou un nombre supérieur en rapport avec les relais, car alors le chargeur risquerait de rester inoccupé. Le premier rouleur s'arrête au relais avec sa brouette en charge et rentre au chantier pendant que le second continue jusqu'à la décharge ou au second relais, et revient avec sa brouette vide à la rencontre du premier. Le troisième rouleur prend de la même manière au deuxième relais jusqu'à la décharge, pour revenir à vide jusqu'à la rencontre du deuxième.

On voit par là que les relais doivent être égaux, étant parcourus dans le même temps, à celui que met le chargeur à remplir une brouette ; par conséquent, ils doivent être payés au même prix que la charge, soit par mètre cube, $\frac{1}{15}$ du prix de la journée du terrassier.

On admet généralement que le transport à la brouette est utilement applicable jusqu'à 90 ou 100 mètres au plus, ce qui constitue trois relais de 30 à 33 mètres, longueur peut-être un peu faible, mais qui, en pratique, compense un peu la difficulté, résultant du roulage sur des remblais fraîchement exécutés et les pertes de temps ou autres imprévus à peu près inévitables.

On voit aussi que, pour le bon ordre du chantier, il faut que le chargeur ait constamment devant lui une brouette à remplir, de même que le rouleur doit toujours avoir une brouette entre les mains, soit en charge, soit à vide ; il en résulte que le nombre des brouettes doit toujours être égal à la somme du nombre des rouleurs et des chargeurs.

Fouille ou extraction et chargement des déblais. — La formule du transport établie ci-dessus ne tient pas compte de l'extrac-

tion ni du déchargement, puisque l'on a supposé que la charge a lieu sans piochage et qu'un chargeur suffit à alimenter un rouleur. On dit alors que la terre est à *un homme*. Quand on est obligé de piocher les déblais ou d'en faire l'extraction, on adjoint au chargeur un ou plusieurs piocheurs suivant les circonstances. On dit alors que la terre est à 2 *ou* 3 *hommes*... ; on dit aussi que la terre est à *un homme et demi*, s'il faut deux chargeurs pour un piocheur. D'après l'usage, le prix de la fouille ou de l'extraction est toujours compté avec le chargement et le prix de déchargement avec celui du transport.

Si l'on représente par m le nombre de piocheurs adjoints au chargeur pour que celui-ci puisse utilement travailler et charger ses 15 mètres cubes dans sa journée de dix heures ($m = 2$ par exemple), en supposant tous les ouvriers terrassiers payés 3 fr. 25, le prix de fouille et charge d'un mètre cube de déblai sera exprimé par la formule :

$$x' = \frac{p(m+1)}{n \text{ ou } 15}$$

ou :

$$\left(\frac{pm}{15} + \frac{p}{15}\right) = \frac{3^f,25 \times 3}{15} = 0 \text{ fr. } 65.$$

Le premier terme $\frac{pm}{15}$ s'applique à la fouille, et le second $\frac{p}{15}$ à la charge.

Déchargement. — Quant au déchargement, on compte généralement, par mètre cube de déblai, 0,04 de journée de terrassier, ce qui, à raison de 0 fr. 325 l'heure (prix indiqué ci-devant), donne 0 fr. 013. Ce prix étant le même, quelle que soit la distance, la formule :

$$x = \frac{2pD}{1000},$$

réduite en fonction de D, deviendra : 0,0065D + 0 fr. 013, ce qui, appliqué à la distance moyenne de 46 mètres, fournie par le mouvement des terres, fait ressortir le prix total du

transport et déchargement à :

$$0 \text{ fr. } 299 + 0 \text{ fr. } 013 = 0 \text{ fr. } 312,$$

soit en nombre rond 0 fr. 31.

Transports en rampe. — Dans l'établissement des éléments de prix qui précèdent, on a supposé que les transports s'effectuent sur un terrain horizontal ou à peu près ; mais il peut arriver qu'on ait à exécuter des transports en brouette sur des terrains en rampe, ou à franchir des différences de niveau rendant le travail plus difficile et devant entraîner une modification de prix. Généralement, dans la pratique, on ne tient compte de l'élévation des déblais que quand la différence entre les points de transport dépasse une rampe de $0^m,05$ par mètre. Dans ces circonstances, l'usage est de régler l'inclinaison du parcours à un maximum de $\frac{1}{12}$, soit une rampe de $0^m,08$ par mètre, et de compter le transport pour autant de relais de 30 mètres qu'il y a de fois 20 mètres dans la distance parcourue, ce qui revient à dire que 1 mètre en rampe de $\frac{1}{12}$ équivaut à $\frac{30}{20}$ ou :

$$\frac{3}{2} = 1,50$$

en parcours horizontal.

Si, par exemple, on veut élever des déblais d'un point à un autre situé à une hauteur H au-dessus du premier au moyen d'un chemin en rampe de $\frac{12}{1}$, ou de $0^m,08$, le parcours sur cette rampe sera de 12H et équivaudra, d'après ce qui vient d'être dit, à un parcours horizontal de $12 \times H \times 1,50$ ou 18H. Ce qui montre que l'élévation à 30 mètres équivaut à un transport horizontal de 18 relais.

Transport au tombereau. — Lorsqu'on doit faire des terrassements un peu plus importants ou effectuer des transports à des distances supérieures à 100 mètres, il est plus avantageux d'employer le tombereau attelé d'un, deux ou trois chevaux suivant les circonstances. Le cube de chargement des

tombereaux dans ces conditions, très peu variable du reste d'un pays à l'autre, est ordinairement de $0^{m3},45$ à $0^{m3},50$, pour un cheval ; $0^{m3},85$, pour deux chevaux ; et $1^{m3},20$, pour trois chevaux[1].

On voit que ces cubes ne croissent pas proportionnellement à l'augmentation du nombre des chevaux ; c'est qu'en effet, dans un attelage de plusieurs chevaux, l'effort de traction n'est pas uniforme et que, par suite du roulage sur des terrains fraîchement remués, il y a perte de travail utile. On a, par conséquent, avantage à n'employer que le tombereau à un cheval pour le transport des déblais ; c'est le système le plus économique et qui occasionne le moins de perte de temps : la contenance la plus courante du tombereau est de $0^{m},45$ pour tenir compte de la difficulté du roulage sur remblais.

L'usage des tombereaux à 2 ou plusieurs chevaux est plus spécialement réservé aux transports des matériaux de construction sur routes ou chemins empierrés ; leur capacité atteint alors 1 mètre cube pour 2 chevaux et $1^{m3},50$ pour 3 chevaux, suivant la nature des matériaux.

L'opération se rapportant au transport au tombereau comprend : 1° le chargement en voiture ; 2° le transport au lieu d'emploi et le retour à vide ; 3° le déchargement du tombereau, son relèvement et sa remise en marche pour revenir au lieu de chargement.

Prix du transport. — Le prix du mètre cube de déblai transporté au tombereau est donné par la formule :

$$x = \frac{P\,(2D + d)}{L.C.}$$

dans laquelle :

P représente le prix de la journée du tombereau à un cheval, conducteur compris ;

D la distance moyenne de transport résultant du mouvement des terres (2D représente l'aller et le retour) ;

[1] A la Compagnie du Midi, on admet $0^{m3},40$, $0^{m3},80$ et $1^{m3},20$; à l'Orléans, $0^{m3},50$, $0^{m3},90$ et $1^{m3},30$.

d, la distance correspondant au temps perdu pendant le chargement et le déchargement;

L, le parcours journalier d'un tombereau, moitié à charge et moitié à vide;

C, le cube du chargement.

Généralement et sauf, bien entendu, les influences locales, on attribue à ces données les valeurs ci-après :

P : la journée de dix heures d'un tombereau attelé d'un cheval, conducteur compris, est de 9 francs en beaucoup de pays; elle est de 15 francs, pour 2 chevaux; et de 20 francs, pour 3 chevaux.

L : l'expérience montre qu'un cheval attelé à un tombereau peut parcourir dans une journée de dix heures, savoir : en charge sur routes ou chemins empierrés, 36.000 mètres; sur remblai avec frayés et fond inégal, 28.000 mètres; à vide, sur le même remblai, 36.000 mètres; d'où une moyenne de 33.000 mètres. Certains ingénieurs admettent dans leurs formules 30.000 mètres; d'autres, 32.000. Plus le remblai est dur et solide, plus ce chiffre est élevé; plus le terrain est mou, et plus ce chiffre est bas.

On a vu, à propos du transport à la brouette, que la charge d'un mètre cube de déblai ordinaire était représentée par le terme $\frac{p}{n}$; il n'en est plus de même pour le tombereau, par suite de l'intervention, dans le chargement, du conducteur, dont le prix de la journée est déjà compris dans l'élément du transport. Il est avantageux, dans ce cas, de rattacher l'opération du chargement à la formule du transport, plutôt qu'à celle de la fouille. L'Administration l'a d'ailleurs recommandé par cette observation insérée à la suite des formules imprimées des bordereaux de prix.

« Lorsqu'on devra employer les deux modes de transport, « à la brouette et au tombereau, le prix élémentaire relatif à « la charge étant différent pour chacun d'eux, on le com- « prendra dans le sous-détail du transport, et non dans celui « de la fouille. » De là l'introduction du terme *d* dans la formule.

Chargement. — Quand l'attelage ne comporte qu'un tombereau et que la distance du transport est courte, il y a avan-

tage, en exécution, à ce que le stationnement au chantier soit réduit au minimum et que, par conséquent, le chargement soit fait par le plus grand nombre d'hommes, parmi lesquels se trouve toujours le conducteur, en évitant toutefois que ces ouvriers puissent se gêner. Mais cet avantage diminue quand la distance de transport augmente ; ainsi on remarque, par exemple, qu'avec un relais, ou au-delà de 150 mètres, il vaut mieux augmenter le nombre des tombereaux et effectuer la charge par 2 hommes seulement, au lieu de 3, et quand on arrive à la distance de 500 mètres, si on n'établit pas de relais, le conducteur, seul, suffit au chargement.

On admet généralement qu'un ouvrier peut charger 12 mètres cubes de déblais ordinaires dans une journée de dix heures. Si donc on désigne par t le temps nécessaire à un terrassier pour charger 1 mètre cube de déblais, et par C le cube du tombereau, le temps total employé au chargement sera de Ct. Si le chargement est fait par 2 hommes, ce temps sera réduit de $\frac{1}{2}$, et sera exprimé par la formule :

$$\frac{Ct}{2}.$$

L'expérience montre que, pour charger un tombereau à 2 chevaux, il faut compter près de $\frac{1}{2}$ en sus, ou :

$$\frac{Ct}{2} + \frac{Ct}{4} = \frac{3Ct}{4};$$

et, pour charger un tombereau à 3 chevaux, il faut compter près de $\frac{1}{3}$ en sus du temps pour 2 chevaux, soit :

$$\frac{3Ct}{4} + \frac{Ct}{4} = \frac{4Ct}{4}.$$

Déchargement. — Le temps correspondant au déchargement n'est pas, en général, proportionnel au cube du tombereau ; on admet d'ordinaire qu'il faut à peu près 1′ 1/3, ou 0^h,022, pour un tombereau à 1 cheval ; 1′ 3/4, ou 0^h,027, pour un tom-

bereau à 2 chevaux ; et 2′, ou 0ʰ,030, pour un tombereau à 3 chevaux.

Si l'on ajoute ces quantités à celles exprimées par les formules de chargement indiquées ci-dessus pour chaque cas, en attribuant à C et à t la valeur qui leur est propre dans le chargement du tombereau à 1 cheval pris pour comparaison, on aura pour la valeur de d, répondant au temps perdu pendant le chargement et le déchargement, savoir :

Pour le tombereau à 1 cheval :

$$t = \frac{0{,}45 \times 0{,}83}{2} + 0^h{,}022 = 0^h{,}20 \text{ ou } 12',$$

ce qui correspond à un parcours de :

$$\frac{3300 \times 12}{60} = 660 \text{ mètres},$$

soit plus ordinairement 600 mètres ;

Pour le tombereau à 2 chevaux :

$$t = \frac{3 \times 0{,}45 \times 0{,}83}{4} + 0^h{,}027 = 0^h{,}30 = 18',$$

ou :

$$\frac{3300 \times 18}{60} = 990,$$

soit 1.000 mètres ;

Et pour le tombereau à 3 chevaux :

$$t = \frac{4 \times 0{,}45 \times 0{,}83}{4} + 0^h{,}030 = 0^h{,}40 = 24',$$

ou :

$$\frac{3300 \times 24}{60} = 1.320,$$

soit 1.300 mètres.

La Compagnie du Midi admet respectivement 500, 1.000 et 1.500 ; l'Orléans, 400, 500 et 900.

Nous avons souvent vu appliquer dans l'Administration 600, 900 et 1.200, qui sont à très peu près les chiffres que nous venons de trouver.

Si dans la formule générale du transport on met, à la

place de P, *d*, L et C, les valeurs trouvées ou indiquées ci-dessus, on aura l'expression du prix en fonction de D ; ainsi, pour le transport à 1 cheval, nous trouverons :

$$x = \frac{9 \times (2D + 600)}{33000 \times 0{,}45} = \frac{18D + 5400}{14850}$$

ou :

$$\frac{18D}{14850} + \frac{5400}{14850}$$

(le second terme étant constant dans chaque cas, quelle que soit la valeur donnée à D),

$$x = 0{,}00120D + 0{,}363.$$

Pour 2 chevaux :

$$x' = \frac{15\,(2D + 1000)}{28050} = \frac{30D}{28050} + \frac{15000}{28050} = 0{,}00106D + 0{,}534.$$

Pour 3 chevaux :

$$x'' = \frac{20\,(2D + 1300)}{39600} = \frac{40D}{39600} + \frac{26000}{39600} = 0{,}00101D + 0{,}656.$$

Ceci n'a, bien entendu, rien d'absolu ; c'est une indication générale, permettant de déterminer suivant les circonstances locales, et d'après les formules applicables à chaque cas, le prix de chaque nature de transport,

Quant au choix du mode de transport, à la brouette ou au tombereau, il dépend de la limite d'application de la formule qui est donnée par la condition :

$$\frac{2PD}{1000} = \frac{P\,(2D + d)}{L.C.}$$

ou :

$0{,}0065D = 0{,}0012D + 0{,}863 = 68$ mètres, soit 70 mètres.

Si on remplace D par 70 dans chacune de ces formules, on trouve en effet pour la brouette :

$$0{,}0065 \times 70 = 0{,}455,$$

et pour le tombereau :

$$0{,}0012 \times 70 + 0{,}363 = 0{,}447.$$

On voit par là qu'avec les données admises ci-dessus les transports à la brouette ou au tombereau, à 68 mètres, coûtent autant l'un que l'autre, et qu'à partir de 70 mètres il serait plus avantageux d'employer le tombereau à 1 cheval.

Il en est de même pour le choix entre les transports au tombereau à 1 cheval et à 2 chevaux, choix qui est déterminé par la condition :

$$0{,}0012D + 0{,}363 = 0{,}00106D + 0{,}534;$$

qui donne :

$$D = 1220.$$

On voit, par conséquent, que jusqu'à 1.220 mètres il est avantageux d'employer le transport au tombereau à 1 cheval, et au-dessus de cette distance c'est le transport à 2 chevaux qui est le plus économique.

On trouverait de la même façon la limite d'application des formules du transport à 2 ou à 3 chevaux = 2.440 mètres.

Mais, en pratique, il est préférable d'abandonner ce mode de transport dès qu'on atteint la distance de 7 à 800 mètres, pour faire usage du transport au vagon, ainsi que nous le verrons ci-après.

Transports en rampe. — Les transports au tombereau sont, ainsi que les transports à la brouette, considérés comme effectués ordinairement sur un terrain à peu près horizontal. Néanmoins, selon les circonstances, on peut tenir compte, dans les formules, de la difficulté résultant de la différence de niveau répondant à des rampes maxima de $\frac{1}{20}$ ou de $0^m,05$ par mètre. Si la différence de niveau correspond à une rampe plus forte, on prend ses dispositions, au moyen de détours, pour arriver à ne pas dépasser $0^m,05$.

On admet généralement que le transport dans ces condi-

tions sur 100 mètres en rampe de $\frac{1}{20}$ équivaut à un parcours de 150 mètres sur terrain horizontal, c'est-à-dire que 1 mètre en rampe de 20 équivaut à $\frac{150}{100}$ ou $1^m,50$ horizontalement. Si, par conséquent, on doit franchir en rampe de 20 une différence de niveau H, le parcours sera considéré comme représentant une longueur horizontale de $20 \times H \times 1,50$, soit 30H. Cette distance est ajoutée dans ce cas à la distance moyenne fournie par le mouvement des terres pour former la valeur de D dans la formule du transport.

Transport au vagon. — Le prix du mètre cube de déblai transporté au vagon est déterminé par la formule :

$$X = 0,40 + 0,0002D + \frac{7R}{C},$$

dans laquelle D représente la distance de transport (fournie par le mouvement des terres ou déterminée par les centres de gravité des déblais et des remblais) ;

R, la longueur de voie nécessaire en tenant compte des voies de garage au chargement, au déchargement et aux divers croisements ;

C, le cube à transporter.

Si l'on suppose D = 2.200 mètres, la longueur R de voie nécessaire peut être évaluée à 3.000 mètres au moins ; si l'on suppose également qu'on ait à transporter un cube de 25.000 mètres, la formule donne avec ces valeurs :

$$X = 0,40 + 0,0002 \times 2200 + \frac{7 \times 3000}{25000} = 0,40 + 0,44 + 0,84 = 1^f,68.$$

Tableau comparatif. — Afin de pouvoir se rendre compte plus facilement des résultats de l'application des diverses formules que nous venons d'établir, il a été dressé ci-après un tableau comparatif des prix suivant les modes de transport qui peuvent être employés pour des distances variant de 50 à 3.000 mètres, en supposant pour le vagon qu'on ait à transporter des cubes de 10.000, 15.000, 20.000, 25.000, 50.000 ou 100.000 mètres.

DISTANCES DE TRANSPORT	TRANSPORT A LA BROUETTE (y compris déchargement 0.013)	TRANSPORT AU TOMBEREAU (cube illimité)			TRANSPORT AU VAGON — En supposant un cube à transporter de :						OBSERVATIONS
		1 cheval	2 chevaux	3 chevaux	10.000m3 — $\frac{7R}{c}$ = 2,10 [1]	15.000m3 — $\frac{7R}{c}$ = 1,40	20.000m3 — $\frac{7R}{c}$ = 1.05	25.000m3 — $\frac{7R}{c}$ = 0 84	50.000m3 — $\frac{7R}{c}$ = 0,42	100.000m3 — $\frac{7R}{c}$ = 0,21	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
50	0,338	»	»	»	»	»	»	»	»	»	[1] Il y a lieu d'ajouter à la valeur de l'expression de $\frac{7R}{c}$ dans chaque cas une constante de 0,40 + la valeur de D pour avoir le prix de transport.
60	0,403	0,435	»	»	»	»	»	»	»	»	
70	**0.468**	**0,447**	»	»	»	»	»	»	»	»	
80	0,533	0,459	»	»	»	»	»	»	»	»	
90	0,598	0,471	»	»	»	»	»	»	»	»	
100	0,663	0,483	»	»	»	»	»	»	»	»	
200	»	0,603	»	»	»	»	»	»	0,86	0,65	
300	»	0,723	»	»	»	»	»	»	0,88	**0.67**	
400	»	0,843	»	»	»	»	»	»	0,90	0,69	
500	»	0,963	»	»	2,60	1,90	1,55	1,34	**0.92**	0,71	
600	»	1,083	»	»	2,62	1,92	1,57	1,36	0,94	0,73	
700	»	1,203	1,276	»	2,64	1,94	1,59	1,38	0,96	0,75	
800	»	1,323	1,382	»	2,66	1,96	1,61	1,40	0,98	0,77	
900	»	1,443	1,488	1,565	2,68	1,98	1,63	**1,42**	1,00	0,79	
1.000	»	1,563	1,594	1,666	2,70	2,00	1,65	1,44	1,02	0,81	
1.200	»	**1,803**	**1.806**	1,868	2,74	2,04	**1,69**	1,48	1,06	0,85	
1.500	»	2,163	2,124	2,171	2,80	**2,10**	1,75	1,54	1,12	0,91	
2.000	»	2,763	2,654	2,676	2,90	2,20	1,85	1,64	1,22	1,01	
2.200	»	3,000	2,866	2,878	2,94	2,24	1,89	1,68	1,26	1,05	
2.500	»	3,363	**3.184**	**3.181**	**3.00**	2,30	1,95	1,74	1,32	1,11	
3.000	»	3,963	3,714	3,686	3,10	2,40	2,05	1,84	1,42	1,21	

De l'examen de ce tableau il résulte que, pour les transports ordinaires à la brouette ou au tombereau exigeant des frais d'établissement ou d'installation peu élevés et un matériel propre à des usages divers, les prix qui leur sont appliqués ne varient pas avec le cube transporté, mais seulement avec la distance de ces transports.

On voit, en outre, que la brouette ne doit être employée ici que jusqu'à 70 mètres; à partir de cette distance, il est plus avantageux de faire les transports au tombereau à 1 cheval. De même, celui-ci ne peut guère être employé que jusqu'à 1.200 mètres; à partir de cette distance, et bien que peu avantageux, le tombereau à 2 chevaux devient plus économique jusqu'à 2.500 mètres. A ce point on doit renoncer à ce mode de transport, qui deviendrait trop onéreux, et employer le vagon à traction de chevaux, pour peu qu'il s'agisse d'un terrassement supérieur à 10 ou 15.000 mètres cubes.

L'emploi du vagon exige des frais d'établissement assez considérables et une installation coûteuse, frais qui ne croissent pas d'ailleurs proportionnellement à la distance du transport et qui deviennent, au contraire, d'autant moindres que les cubes à transporter sont plus considérables. L'élément correspondant à $\frac{7R}{c}$ a seul une grande influence sur l'accroissement du prix, suivant que le cube à transporter est plus faible, la constante 0,40 restant la même, quel que soit ce cube.

Ce tableau montre aussi que plus les cubes à transporter sont faibles et plus les prix de transport au vagon sont élevés, et que, par conséquent, à moins de vouloir utiliser un matériel sans emploi ou à pied-d'œuvre, on ne doit recourir pratiquement à ce mode de transport que pour des cubes atteignant au moins 25.000 mètres.

Pour un cube de 15.000 mètres l'emploi du vagon ne devient plus avantageux que le tombereau qu'à partir de 1.500 mètres. Pour un cube de 20.000 mètres, cet avantage paraît déjà à partir de 1.200 mètres.

S'il s'agit de 25.000 mètres cubes, le transport au vagon devient plus avantageux que le tombereau à 900 mètres.

Enfin, cet avantage paraît surtout pour des cubes de 50.000

et de 100.000 mètres à partir des distances de 500 et 300 mètres.

Ceci n'a rien d'absolu et dépend d'ailleurs, de même que les formules, des circonstances locales : prix de journées de manœuvres, voituriers, et des chargements possibles. En faisant l'équation des formules on trouvera facilement leur limite d'application dans chaque cas.

On n'a pas tenu compte dans la formule du vagon de la rampe suivant laquelle peut s'effectuer le transport des déblais, ni par conséquent de l'influence qu'elle peut avoir sur la détermination du prix correspondant. On remarquera que pour un transport sur rails la pente ordinaire des chemins de fer, même $0^{m},020$ au plus, ne constitue pas véritablement une difficulté d'exécution. D'autre part, les grandes tranchées correspondant en général à un sommet de pentes, c'est-à-dire au point haut du profil en long, la pente ne peut qu'être favorable à l'entrepreneur qui en profite, même le plus souvent, pour établir son transport à la gravité, soit d'un côté, soit de l'autre, et diminuer ainsi les frais de traction, tout en augmentant la charge.

MÉTRÉ DES OUVRAGES D'ART

On a vu plus haut qu'il était dressé un projet spécial et détaillé de chaque aqueduc, ponceau ou pont de quelque importance qu'il soit, accompagné d'un métré des diverses natures d'ouvrages pouvant entrer dans sa construction et devant servir à la rédaction de l'avant-métré général et du détail estimatif du projet d'exécution (pièces 7 et 9 du dossier F).

Mais fort souvent, en ce qui concerne les petits ouvrages, jusqu'à 3 mètres d'ouverture, et aussi pour abréger le travail, on se contente de faire le métré d'une tête et d'un mètre courant de voûte ou du corps de chaque ouvrage de dimensions différentes, que l'on applique ensuite à toutes les têtes et à la longueur cumulée du corps des ouvrages semblables.

Nous donnons ci-après, à titre de renseignement, le métré fait dans ces conditions d'une tête et d'un mètre courant du corps de l'ouvrage pour des aqueducs et ponceaux voûtés, avec murs en aile, de $0^{m},70$, 1 mètre, $1^{m},50$, 2 mètres et 3 mètres d'ouverture, établis d'après les types ordinaires de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.

Résumé de métré

NATURE D'OUVRAGES	AQUEDUC VOUTÉ de 0m,70 d'ouverture (Hauteur sous clé, 1m)		AQUEDUC VOUTÉ de 1m,00 d'ouverture (1 mètre sous clé)		PONCEAU de 1m,50 d'ouverture (1m,30 sous clé)		PONCEAU de 2m,00 d'ouverture (2 mètres sous clé)		PONCEAU de 3m,00 d'ouverture (3 mètres sous clé)	
	1 tête	1 mètre courant de voûte	1 tête	1 mètre courant de voûte	1 tête	1 mètre courant de voûte	1 tête	1 mètre courant de voûte	1 tête	1 mètre courant de voûte
Fouilles de fondations	3m3,938	1m3,80	4m3,80	2m3,30	16m3,28	4m3,125	8m3,361	3m3,965	174m3,05	11m3,96
Maçonnerie ordinaire	2 ,580	1 ,035	3 ,585	1 ,510	8 ,877	3 ,204	12 ,483	3 ,654	29 ,264	7 ,239
Maçonnerie de moellons épincés	1 ,180	0 ,762	1 ,336	0 ,913	1 ,724	1 ,014	3 ,512	1 ,683	6 ,821	2 ,455
Maçonnerie de moellons piqués ou 2e choix	0 ,123	»	0 ,214	»	0 ,297	»	0 ,535	»	0 ,961	»
Maçonnerie de libage [1]	0 ,132	»	0 ,185	»	0 ,360	»	0 ,432	»	0 ,688	»
Maçonnerie de pierre de taille	0 ,350	»	0 ,392	»	0 ,916	»	0 ,973	»	1 ,489	»
Parements vus de moellons épincés	6m2,26	3m2,11	7m2,35	3m2,59	9m2,79	4m2,97	21m2,27	7 ,15	41 ,24	7 ,71
Parements vus de moellons piqués	0 ,56	»	0 ,97	»	1 ,71	»	2 ,25	»	3 ,81	»
Parements vus de pierre de taille et libage	3 ,21	»	3 ,48	»	5 ,48	»	7 ,30	»	10 ,98	»
Rejointoiement de parements de taille	3 ,21	»	3 ,48	»	5 ,48	»	7 ,30	»	10 ,98	»
Rejointoiement de moellons épincés et piqués	6 ,82	3 ,11	8 ,32	3 ,59	11 ,50	4 ,97	23 ,52	7 ,15	45 ,05	11 ,79
Chape en mortier de 0m,06 d'épaisseur	0 ,47	1 ,89	0 ,51	2 ,57	0 ,63	3 ,15	1 ,06	4 ,22	2 ,87	5 ,735
Cintres	»	»	»	»	0m3,15	0m3,25	0 ,18	0 ,30	0 ,258	0 ,43

[1] Dans le réseau Paris-Lyon-Méditerranée on désigne généralement sous le nom de *libage* la pierre de taille employée comme garde-radier des ouvrages ou comme plinthes de certains aqueducs nécessitant une taille ou un parement moins soigné que celui de la taille ordinaire.

En multipliant respectivement dans chaque cas les quantités portées à ce métré par le nombre de têtes et la longueur cumulée du corps de souvrages de même ouverture, on obtient un résumé de métré pour l'ensemble des ouvrages semblables ou de même type à construire sur la ligne.

Base d'estimation des ouvrages. — L'estimation des dépenses (pièces 9 et 10 du dossier B) est faite d'après les renseignements pris sur place par le chef de section sur les prix de revient de la main-d'œuvre, la valeur des matériaux, leurs qualités et leur provenance. On comprend dès lors que ces prix varient, pour les terrassements, avec la difficulté des fouilles et les distances de transport, et pour les ouvrages d'art avec les circonstances locales tirées des difficultés d'approvisionnement des matériaux.

En appliquant ensuite à chaque nature d'ouvrages fournie par le résumé de métré ci-dessus les prix qui s'y rapportent, on a ainsi l'évaluation du prix de revient des aqueducs ou ponceaux de même ouverture.

Pour les ouvrages d'art courants et en conditions normales jusqu'à 20 ou 25 mètres d'ouverture on possède actuellement des renseignements suffisamment approchés sur les prix de revient d'ouvrages similaires construits dans les régions environnantes pour pouvoir fournir, dans chaque cas et à défaut de métré préalable, une estimation en bloc, sans risquer de s'éloigner par trop de la vérité.

Pour les ouvrages d'art exceptionnels, il est préférable d'en faire le métré et d'y appliquer les prix usités dans la localité.

Prix de revient de divers ouvrages. — On trouvera ci-après, à titre de simple renseignement, des prix de quelques ouvrages les plus ordinaires exécutés sur une ligne du réseau Paris-Lyon-Méditerranée dans des conditions à peu près normales.

§ 1er. — Ouvrages courants pour l'écoulement des eaux

				francs
Aqueduc dallé de 0m,50 sous des chemins latéraux				350 à 400
— 0m,60 —				500
Aqueduc de 0m,70 sous rails (plancher)				700
Aqueduc voûté de 0m,70 (longueur entre les têtes, 8m,40 [1].	1 tête (0m,60)	francs 215	moyenne	900 à 1.000
	1 mètre courant	85		
Aqueduc voûté de 1 mètre	1 tête	250	—	1.300 à 1.500
	1 mètre courant	125		
Ponceau voûté de 1m,50	1 tête	515	—	2.200 à 2.500
	1 mètre courant	175		
Ponceau voûté de 2 mètres	1 tête	725	—	2.600 à 3.000
	1 mètre courant	225		
Ponceau de 2 mètres avec P. M.	maçonneries	1.630	.....	3.000
	tablier métallique.	1.370		
Ponceau voûté de 3 mètres				4.500 à 5.000
Ponceau de 3 mètres avec P. M.				5.000
Pont voûté de 4 mètres				7.000 à 10.000
— 5 —				8.000 à 12.000
— 6 —				10.000 à 15.000
— 7 —				12.000 à 17.000
— 8 —				18.000 à 20.000
Pont de 6 mètres avec P. M.	maçonneries	francs 6.147	moyenne	10.686
	tablier métallique.	4.539		
— 7 —	maçonneries	6.640	—	13.149
	tablier métallique.	6.509		
— 8 —	maçonneries	6.874	—	13.487
	tablier métallique.	6.613		
— 10 —	maçonneries	9.885	—	19.143
	tablier métallique.	9.258		
— 12 —	maçonneries	12.700	—	24.084.
	tablier métallique.	11.384		

§ 2. — Ouvrages pour le rétablissement des voies de communication

Passages supérieurs

		francs		francs
P. S. de 4 mètres de largeur et 16 mèt. d'ouverture avec P. M.	maçonneries	10.200	moyenne	18.100
	tablier métallique.	7.900		
P. S. de 5 mètres de largeur et 16 mèt. d'ouverture avec P. M.	maçonneries	13 600	—	23.465
	tablier métallique.	9.865		
P. S. de 8 mètres de largeur et 16 mèt. d'ouverture avec P. M.	maçonneries	15.400	—	32.728
	tablier métallique.	17.328		

Passages inférieurs

		francs		francs
P. I. de 4 mètres de longueur avec P. M. (poutres jumelles).	maçonneries	11.266	moyenne	14.406
	tablier métallique.	3.145		

[1] Pour le corps de l'ouvrage on déduit les deux têtes, soit 1m,20; reste : 7m,20.

				francs
P. I. de 4 mètres de longueur avec P. M. (poutres ordinaires)	tablier métallique.	2.791	moyenne	14.057
P. I. de 3 mètres d'ouverture voûté			—	8.500
P. I. de 3 mètres d'ouverture métallique	maçonneries.....	6.050	—	8.000
	tablier.....	1.950		
P. I. de 5 mètres d'ouverture voûté			—	12.000
P. I. de 5 mètres d'ouverture métallique	maçonneries.....	7.365	—	11.000
	tablier.....	3.635		
P. I. de 6 mètres d'ouverture métallique	maçonneries.....	10.461	—	15.000
	tablier métallique.	4.539		
P. I. de 8 mètres d'ouverture métallique	maçonneries.....	13.487	—	20.000
	tablier métallique.	6.513		
P. I. de 10 mètres d'ouverture métallique	maçonneries.....	15.742	—	25.000
	tablier métallique.	9.258		

Ces prix n'ont rien d'absolu ; nous répétons qu'ils peuvent varier avec les circonstances locales, surtout en ce qui concerne plus particulièrement les maçonneries ; mais nous pensons néanmoins qu'on peut les considérer comme suffisamment exacts pour figurer dans l'estimation des dépenses d'un projet de tracé et de terrassements.

Pour le projet d'exécution, les métrés étant terminés et le bordereau des prix arrêté, on peut donner, d'une façon plus complète, le détail estimatif du projet.

APPROBATION DU PROJET DE TRACÉ

L'approbation du projet de tracé et de terrassements par l'Administration supérieure détermine la direction définitive de la ligne, fixe la limite des courbes et le maximum des déclivités, le nombre et les dimensions des ouvrages d'art, ainsi que les principales conditions de leur établissement.

On peut dès lors s'occuper de la rédaction des projets de détails de ces ouvrages pour la constitution du dossier du projet d'exécution (E).

On procède ensuite à la préparation des dossiers B', C et D dont on trouvera ci-après la composition sommaire.

Dossier B'. — Désignation des territoires traversés. — Ce dossier se compose des pièces suivantes :

N°s des PIÈCES	DÉSIGNATION DES PIÈCES	OBSERVATIONS
1	Lettre au préfet demandant de prendre l'arrêté désignant les territoires traversés.	
2	Arrêté désignant les territoires traversés.	
3	Affiche de publicité de l'arrêté.	
4	Journal où se trouve inséré l'arrêté.	

Dossier C. — Enquêtes sur le nombre et l'emplacement des stations. — Ce dossier est composé ainsi qu'il suit :

N°s des PIÈCES	DÉSIGNATION DES PIÈCES	OBSERVATIONS
I	Lettre d'envoi au préfet des dossiers à soumettre à l'enquête et demande d'ouverture de l'enquête.	NOTA. — Le dossier C[II] adressé à toutes les communes à station comprend : 1° Carte générale du tracé à 1/80000e 2° Plan général au 1/10000e (limite de l'arrondissement). 3° Profil en long au 1/10000e et 1/1000e (arrondissement). 4° Plan général au 1/1000e de la station et des voies d'accès. 5° Notice explicative (la même pour toutes les gares). 6° Arrêté ordonnant le dépôt des pièces du projet prescrivant l'ouverture de l'enquête et nommant la commission. 7° Avis annonçant l'enquête. 8° Registre d'enquête.
II	Dossier d'enquête pour chaque commune du lieu des stations.	
III	Dossier d'enquête pour chaque commune consultée sur l'établissement des stations.	
IV	Procès-verbal des opérations de la commission d'enquête.	Le dossier C[III] adressé à toutes les communes intéressées, mais n'ayant pas de stations, comprend : 1° Carte générale du tracé au 1/10000e. 2° Notice explicative. 3° Arrêté ordonnant le dépôt des pièces du projet et nommant la commission. 4° Extrait du registre des délibérations du conseil municipal.
V	Rapport des Ingénieurs sur les résultats de l'enquête.	

Dossier D. — Enquêtes parcellaires. — Ce dossier est composé ainsi qu'il suit :

N°s des PIÈCES	DÉSIGNATION DES PIÈCES	OBSERVATIONS
I	Lettre d'envoi au préfet des dossiers des enquêtes et demande d'ouverture des enquêtes.	*Composition du dossier D[1]* 1° Plan général au 1/10000e de la commune. 2° Profil en long au 1/10000e et 1/1000e (commune). 3° Plan parcellaire au 1/1000e (commune). 4° Tableau indicatif des propriétés à acquérir. 5° Tableau des ouvrages à exécuter pour le maintien des communications et l'écoulement des eaux. 6° Notice explicative. *Pièces annexes :* 7° Arrêté ordonnant le dépôt des pièces du projet prescrivant l'ouverture de l'enquête et nommant la commission appelée à donner son avis. 8° Avis annonçant l'enquête. 9° Journal où se trouve inséré l'avis d'enquête. 10° Registre d'enquête. 11° Registre destiné à recevoir les déclarations de domicile. 12° Procès-verbal des opérations de la commission d'enquête. 13° Avis annonçant l'enquête supplémentaire. 14° Journal où se trouve inséré l'avis supplémentire. 15° Procès-verbal de l'enquête supplémentaire. 16° Avis des Ingénieurs sur les résultats de l'enquête. 17° Tableau des ouvrages à exécuter pour le maintien des communications et l'écoulement des eaux d'après les propositions de l'ingénieur en chef à la suite de l'enquête.
II	Dossier d'enquête pour chaque commune traversée par le chemin de fer.	
III	Rapport général sur les résultats des enquêtes.	
IV	Lettre d'envoi au préfet des dossiers des enquêtes à soumettre à l'approbation de l'administration supérieure.	
IV[a]	Même lettre exclusivement destinée aux chemins de fer concédés.	

La préparation de ce dossier exige beaucoup de soin et d'attention, car les formalités relatives à la procédure d'expropriation auxquelles il sert de base sont importantes et fort délicates. Les deux principales pièces sont le plan parcellaire

et l'état indicatif des propriétés à acquérir (nos 3 et 4 du dossier Dm). On trouvera ci-après quelques indications sommaires sur la préparation et la rédaction de ces deux pièces.

Plan parcellaire. — L'axe de la ligne étant arrêté définitivement, on s'en sert comme ligne de base pour relever le plan des parcelles atteintes par le tracé. Comme l'établissement d'un chemin de fer apporte, dans l'exploitation des propriétés riveraines, par suite de la suppression de certains chemins et la sujétion de ne passer qu'en des points déterminés, une plus grande gêne que ne le fait généralement une route, il est nécessaire d'avoir le plan de ces propriétés sur une plus grande étendue, afin d'étudier les moyens de les desservir convenablement. C'est pourquoi il est d'usage de relever ce plan sur 100 mètres au moins de chaque côté de l'axe.

Les plans parcellaires doivent indiquer toutes les limites de propriétés et de cultures ; ils doivent porter les noms des propriétaires tels qu'ils sont inscrits à la matrice des rôles (article 5 de la loi du 3 mai 1841).

A cet effet, le chef de section fait relever dans les mairies des communes traversées par la ligne un extrait de la matrice cadastrale concernant les propriétés comprises dans le périmètre du plan parcellaire.

Dans aucun cas et sous aucun prétexte, les noms des propriétaires réels, non inscrits, ne doivent figurer sur les plans parcellaires.

État parcellaire. — Les états indicatifs, déposés à l'enquête en même temps que les plans, doivent indiquer uniquement les noms et prénoms des propriétaires inscrits sur la matrice des rôles, sans aucune addition ni retranchement. Si la matrice des rôles n'indiquait ni la profession, ni la demeure de l'inscrit, il ne faudrait pas non plus les porter, lors même qu'on les connaîtrait. Les propriétaires actuels ou présumés ne doivent pas y figurer ; mais on peut les porter sur les états minutes (états parcellaires) avec leurs professions et leurs domiciles, à titre de renseignement pouvant servir aux acquisitions.

Les indemnités d'expropriation étant payées aux proprié-

taires inscrits sur la matrice des rôles lors du jugement d'expropriation, sans aucune justification de titre de propriété, il est indispensable d'avoir la certitude que les propriétaires indiqués comme inscrits le sont réellement.

Les états indicatifs doivent être vérifiés par le directeur des Contributions directes, et il importe, afin d'éviter des erreurs, de s'assurer de la concordance parfaite des numéros du cadastre portés sur le plan avec ceux portés sur ces états.

La surface des chemins et cours d'eau englobés dans les emprises du chemin de fer ne doit pas être indiquée dans les états parcellaires toutes les fois qu'ils sont *conservés* ou *remplacés* par des déviations prévues au projet.

Les routes, chemins, rivières, torrents, ruisseaux, etc., qui n'ont pas au cadastre un numéro particulier, doivent être portés comme non imposés.

On ne doit jamais donner d'autre qualification que celle-ci : *non imposé*. Ces deux mots se mettent dans la colonne des inscrits et la nature est indiquée dans la colonne destinée à cet effet.

La loi exigeant qu'une offre soit faite à chaque propriétaire, on ne doit *jamais réunir* sous un seul numéro parcellaire *plusieurs numéros du cadastre inscrits à des noms et à des cotes différentes*, lors même qu'actuellement la parcelle les réunissant n'appartiendrait qu'à un seul propriétaire. Légalement on est censé l'ignorer.

Il faut indiquer quelle est la contenance prise dans chaque numéro cadastral, lorsque les numéros sont inscrits à des noms différents, de manière à permettre l'accomplissement des formalités prescrites par la loi. Si les limites cadastrales avaient entièrement disparu, ou si la subdivision de la parcelle cadastrale n'était pas apparente sur le terrain, on devrait requérir les propriétaires d'indiquer ces limites; cela est absolument indispensable. D'ailleurs, si la propriété n'appartient réellement qu'à un seul propriétaire, les indications de contenance peuvent être faites approximativement; il suffit que le total soit exact.

Quant aux fossés limitatifs des propriétés, aux rigoles d'irrigations, aux cours d'eau ou ravins dont le lit n'est pas bien défini et a peu d'importance comme surface, on en attribue la propriété aux riverains, à moins d'indications contraires,

en le mentionnant dans les tableaux parcellaires par les mots: *terre et fossés, terre et rigoles*, etc.

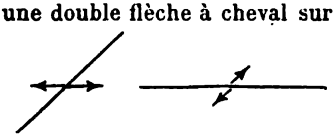
Ces indications sont, pour la plupart, extraites d'une circulaire du directeur de la construction à la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, en date du 29 mars 1872.

Le plan parcellaire est rapporté par commune à l'échelle de $0^{m},001$ par mètre; les numéros du cadastre y sont indiqués en noir, en dessous du nom des propriétaires inscrits avec les différentes natures de culture au moyen des abréviations suivantes:

T, terre;
P, prés, prairie;
V, vigne;
B, bois;
Br, broussaille;
Fr, friche;
V^{r}, verger.

Chaque parcelle atteinte par l'emprise du chemin de fer et de ses dépendances porte un numéro spécial, dit numéro parcellaire, inscrit à l'encre noire en caractère gras dans un petit rond d'environ $0^{m},004$ de diamètre : ① ② ③ ; la série de ces numéros est renouvelée pour chaque commune.

Quand diverses parcelles contiguës de même nature ou de cultures différentes appartiennent à un même propriétaire, on l'indique par une double flèche à cheval sur la limite de ces parcelles:



Enfin, à l'une des extrémités de chaque parcelle, on a soin d'indiquer la desserte ou la dévestiture au moyen d'une petite flèche tournée dans la direction du chemin servant ordinairement à l'exploitation de cette parcelle. Ce renseignement est même nécessaire pour étudier le rétablissement des dessertes supprimées par le tracé.

Telle est à peu près la série des opérations qui constituent l'étude et la préparation d'un projet d'une ligne de chemin de fer.

DEUXIÈME PARTIE

CONSTRUCTION

INFRASTRUCTURE

CHAPITRE I

PLATEFORME

On entend par **infrastructure** l'établissement de la partie du chemin de fer située au-dessous du ballast et des rails, c'est-à-dire la construction de la plateforme, des ouvrages qui en dépendent et de ceux qui sont nécessaires à son entretien et à sa surveillance, comme les clôtures et les maisons de garde.

§ 1. — Terrassements

Tous les marchés relatifs à l'exécution des travaux dépendant de l'Administration des Ponts et Chaussées, passés sous la forme d'adjudication publique ou résultant de conventions faites de gré à gré, sont soumis aux clauses et conditions générales du 16 novembre 1866, modifiées par l'arrêté du 16 février 1892.

Quand on veut exécuter une ligne de chemin de fer, on doit se préoccuper d'abord de l'acquisition des terrains, de façon à permettre à l'entrepreneur d'installer ses chantiers, car il est difficile autrement de commencer les travaux sans risquer de les voir interrompus ou arrêtés par suite de l'opposition ou du refus de certains propriétaires plus ou moins récalcitrants.

La décision ministérielle approbative du projet fixe ordinairement les conditions d'exécution des travaux, c'est-à-dire si le chemin doit être établi pour deux voies ou pour une

seule, et, dans ce dernier cas, si les terrains doivent être acquis pour deux voies.

Exécution pour une ou deux voies. — En effet la question peut être envisagée de trois façons, car on peut :

1° Exécuter d'abord la plateforme pour une seule voie ;

2° Faire immédiatement la plateforme pour deux voies, mais n'en poser qu'une et ajourner l'autre à une époque où la nécessité en sera reconnue ;

3° Enfin adopter un système mixte consistant à acquérir les terrains et construire les ouvrages d'art pour deux voies, sauf à ne faire les terrassements que pour une voie.

Le deuxième procédé est souvent employé sur les lignes dont l'importance du trafic probable fait présumer la pose à bref délai de la deuxième voie.

Le troisième procédé a été prescrit dans plusieurs circonstances aux Compagnies par certains cahiers de charges. On remarque, en effet, qu'on peut toujours avec certaines précautions élargir une plateforme de terrassements, même sur une ligne en exploitation ; l'exécution faite en détail n'en est pas rendue sensiblement plus coûteuse ; mais il n'en est pas de même pour les ouvrages d'art et les terrains. On se rendra aisément compte qu'il est plus facile, et surtout plus économique de faire un ouvrage en une seule fois, que de venir ensuite l'allonger, à cause des sujétions de toutes sortes qu'en traînent la démolition des maçonneries et leur liaison ultérieure.

Terrains. — Pour les terrains c'est peut-être encore plus sensible, car ils augmentent généralement de valeur, par suite du voisinage du chemin de fer, surtout à proximité des gares ou des lieux habités. On voit en effet un excédent retenu par un propriétaire, utilisé fort souvent et couvert de constructions qui en augmentent la valeur dans des proportions telles que l'expropriation en devient, par la suite, fort difficile et fort coûteuse. Nous avons vu sur certaines lignes des terrains ordinaires valant de 5 à 7.000 francs l'hectare acquérir, dans une période de dix à quinze ans, par suite d'installations d'usines ou d'industries aux abords du chemin de fer une valeur de 50 à 100.000 francs l'hectare.

Mais, d'autre part, il faut considérer l'avance de l'argent et la perte d'intérêt durant toute la période d'ajournement des travaux de la deuxième voie.

Dans ces conditions on peut se demander où est l'avantage? M. le Ministre des Travaux publics posait la question aux Compagnies dans une circulaire de 1861 ainsi conçue :

« Jusqu'à présent les Compagnies concessionnaires des chemins de fer ont été généralement autorisées à n'exécuter les terrassements que pour une seule voie ; mais on leur a imposé l'obligation d'acheter les terrains et de construire les ouvrages d'art pour deux voies. Convient-il de continuer à suivre cette règle, ou serait-il plus à propos de n'acquérir d'abord les terrains et de ne construire les ouvrages d'art que pour une seule voie ?

« La dépense totale de construction du chemin de fer, après la pose de la seconde voie, serait ainsi augmentée ; mais, d'un autre côté, on économiserait, au moment de la première construction, une somme importante dont les intérêts cumulés compenseraient, au moins en partie, cette augmentation. Ne peut-on pas admettre que l'on obtiendrait souvent, par ce moyen, une économie sur la dépense définitive ? »

M. Nordling, dans les *Annales des Ponts et Chaussées* de 1862, et M. Sévène, dans son *Cours de Chemins de fer*, ont traité cette question dans tous ses détails. M. Sévène la traduit algébriquement de la manière suivante en désignant par :

A, la dépense des ouvrages d'art et des acquisitions de terrains pour une seule voie ;

B, la somme à ajouter pour faire immédiatement ces ouvrages et les acquisitions de terrains pour deux voies ;

C, la somme plus grande que B qu'il faudra dépenser ultérieurement pour l'élargissement à deux voies;

Et n, le nombre probable d'années au bout duquel la seconde voie sera nécessaire ; il s'agit de savoir si :

$B(1,05)^n$ est plus grand ou plus petit que C ?

Généralement la largeur entre les têtes des ouvrages d'art ordinaires sous une ligne de chemin de fer est de $8^m,40$ pour deux voies.

Cette largeur n'est que de $4^m,50$ pour une voie. Mais il ne faut pas croire que la dépense pour ces ouvrages varie pro-

portionnellement à ces dimensions. Pour un ouvrage sous remblai, l'allongement correspondant à l'empattement des talus reste le même, ainsi que la dépense des têtes, quelle que soit la largeur de la plateforme.

Pour les ouvrages ordinaires et les viaducs, la voie unique réduit de 1/3 à 1/4 la dépense correspondant à la double voie; l'élargissement ultérieur produit donc une augmentation de 1/2 à 1/3 de la dépense initiale.

Pour les viaducs métalliques l'influence des têtes disparaît à peu près complètement quand les poutres sont placées sous la voie; l'augmentation de dépenses est à peu près proportionnée à l'augmentation de largeur.

Pour les petits ouvrages sous remblai, l'empattement des talus restant à peu près constant, l'augmentation des dépenses est assez faible.

Pour les souterrains, la réduction de dépense procurée par la voie unique est d'environ le 1/4 de la dépense pour deux voies, soit le 1/3 de la dépense correspondant à la voie unique primitive. Mais l'augmentation de dépenses résultant de l'ajournement est beaucoup plus grande. On ne peut guère, en effet, élargir un tunnel pour le mettre à deux voies autrement qu'en faisant une seconde percée à côté de la première; ce n'est donc plus un tunnel à deux voies, mais deux tunnels à une voie, ce qui est bien différent et plus incommode. La deuxième voie faite en élargissement double donc la dépense faite primitivement.

Toutefois, on admet généralement, pour l'ensemble des ouvrages, que la construction faite immédiatement pour deux voies entraîne une augmentation de $\frac{1}{3}$ (0,33) sur le prix de revient des ouvrages d'art et des terrains nécessaires pour une voie; autrement dit, que la réduction de la largeur à une voie procure une économie du quart de la dépense totale (0,25). On a dans ces conditions :

$$B = \frac{1}{3} A.$$

Cette économie est bien à considérer; mais, par contre,

elle a pour conséquence l'élargissement ultérieur qui entraîne une dépense plus forte qu'on évalue en général à 60 ou 70 0/0 de la dépense initiale. Autrement dit, on a :

$$C = \frac{2}{3} A,$$

ou :

$$C = 2B.$$

Si on remarque qu'un capital placé à intérêts composés à 5 0/0 se double en quatorze ans, on en conclut que, si l'importance du trafic à espérer d'une ligne est telle qu'on puisse prévoir la pose d'une deuxième voie avant quatorze ans, on a avantage à l'exécuter immédiatement.

L'expérience a démontré que, parmi les lignes construites dans ces conditions, pas une n'a reçu sa deuxième voie avant quatorze ans, ce qui paraît devoir condamner le système mixte et tendrait à montrer que l'exécution anticipée des ouvrages d'art (sauf pour les souterrains) et l'acquisition des terrains pour deux voies constituent une fausse manœuvre. Les Compagnies ont d'ailleurs répondu dans ce sens au questionnaire du Ministre des Travaux publics.

Mais, néanmoins, les décisions ministérielles approbatives des projets prescrivent généralement de faire les terrassements et d'exécuter les ouvrages d'art pour une seule voie et d'acheter les terrains pour deux voies. Cette dernière précaution n'est jamais trop coûteuse, car, même en cas d'inutilisation de ces terrains, il est toujours facile de les revendre ultérieurement avec de gros bénéfices sur les prix d'acquisition, surtout dans le voisinage des gares.

Largeur des emprises. — La largeur des emprises nécessaires à l'établissement d'une ligne varie avec l'importance des terrassements et le nombre et l'importance des gares et stations. Les grands remblais et les fortes tranchées ont une grande influence sur la surface occupée par suite de l'épanouissement de leurs talus : chaque mètre de hauteur correspondant à 3 mètres de largeur en plan.

La largeur moyenne de l'emprise s'établit ainsi par mètre courant de ligne :

Pour un chemin à deux voies la plateforme en remblai étant de $9^m,60$ et celle en déblai de $11^m,20$, nous avons une moyenne d'environ..... $10^m,50$

Si on suppose que les remblais ou les tranchées atteignent une hauteur de $2^m,50$ à 3 mètres dans les cas les plus ordinaires, l'épanouissement des talus à 3/2 donne pour les deux côtés une moyenne de.. $7^m,50$

Au pied des talus de remblai ou au sommet des talus des tranchées on prévoit ordinairement un franc bord de 2 mètres pour les clôtures, et aussi pour la circulation des agents en cas de réparations ou pour parer à l'éventualité d'un éboulement, soit pour les deux côtés..... $4^m,00$

A cela il faut ajouter, pour les déviations de chemins et ruisseaux, établissement de chemins latéraux pour la desserte des propriétés enclavées, environ 25 à 30 ares par kilomètre, soit une moyenne de..... $3^m,00$

Il y a en plus les gares et stations, qui occupent sur les lignes secondaires actuellement en construction, une surface moyenne de 2 hectares et demi, et quelquefois 3 hectares, ce qui, avec un espacement moyen de 8 à 10 kilomètres entre chacune d'elles donne une moyenne de..... $3^m,00$

Soit une surface totale moyenne de..... $28^m,00$

Pour une ligne à une voie, on n'a en moins que la différence résultant du profil moyen de déblai ou de remblai, soit environ..... $4^m,00$

Les lignes à difficulté moyenne dépassent rarement pour une voie la largeur de..... $21^m,00$

Ft pour deux voies celle de..... $32^m,00$

Rigolage. — Une fois la largeur des emprises déterminée sur les plans d'études des ouvrages d'art et des déviations, on l'indique aux plans parcellaires vis-à-vis chaque piquet et on la reporte ensuite sur le terrain où chacun de ces points est marqué par un fort piquet rond, afin de procéder au rigolage ou tracé des rigoles d'emprises de chaque côté

de l'axe. Au moyen de jalonnettes placées sur ces piquets et à des points intermédiaires suffisants, on effectue ces rigoles à la largeur et à la profondeur d'un fer de bêche, en laissant les piquets en dehors, pour déterminer ainsi la limite des terrains occupés par la ligne.

Estimation et acquisition des terrains. — L'Administration des Ponts et Chaussées n'a pas de service central des acquisitions de terrains au Ministère des Travaux publics; c'est peut-être un tort. Chaque chef de service chargé d'une étude de grands travaux organise, selon les circonstances, et à sa façon, la branche du service des acquisitions qu'il confie à tel ou tel conducteur, jeune ou vieux, ayant plus ou moins l'expérience de cette partie. Il en résulte que, tout en suivant à peu près exactement les principes généraux de l'Administration, ce travail laissé à l'initiative de chacun n'est pas toujours exécuté dans son ensemble avec l'uniformité désirable, et que l'on arrive, par des applications variées comme détails de procédure, à des résultats différents et surtout à des prix majorés de frais généraux très divers. Nous avons pu, du reste, constater ce fait dans des services organisés pendant la période des grands travaux de 1879 à 1885.

Certaines Compagnies, et la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée entre autres, ont un service de contentieux des acquisitions avec des agents spéciaux. Un géomètre expert est mis à la disposition de chaque chef de service qui en a besoin pour la confection des plans parcellaires et les acquisitions de terrains des lignes qui lui sont confiées. Le travail est fait de la même façon sur tout le réseau.

Quelle que soit, d'ailleurs, la manière dont ce service est organisé, l'agent qui en est chargé commence d'abord, avec l'aide d'un expert pris sur place ou au chef-lieu le plus voisin, par faire le classement des terrains de chaque commune par natures de culture et par catégories, avec l'estimation de la valeur vénale de chacune d'elles. Il s'entoure, en outre, à cet effet, de renseignements sur les ventes relevées dans les études de notaires ou les bureaux de l'enregistrement et des domaines.

En dehors de la valeur vénale il y a lieu de tenir compte

aux propriétaires du préjudice résultant de l'acquisition forcée, en un mot du prix d'*affection*, du morcellement des parcelles, de l'allongement ou de la privation de desserte pour la portion restante, ce qui conduit à une majoration du prix ordinaire qui peut varier de 25 à 55 0/0.

On doit veiller avec soin néanmoins à ce que, dans le but d'obtenir une baisse apparente dans le prix des acquisitions, il ne soit pas fait aux propriétaires des concessions de passages ou autres ouvrages, onéreuses pour l'État et grevant la ligne de servitudes d'entretien ultérieur; mieux vaut payer dans chaque cas des indemnités spéciales.

Il faut aussi, autant qu'on le peut, laisser aux propriétaires la jouissance des récoltes pendantes, car, en règle générale, on attribue à un terrain nu un prix d'affection moindre qu'à un terrain couvert de sa récolte qui lui donne naturellement une apparence de plus grande valeur.

Commencement des travaux. — Dès que les pièces du projet ont été remises à l'entrepreneur, celui-ci prend ses mesures pour commencer les travaux et organiser ses chantiers, soit de terrassements, soit de construction de certains ouvrages d'art pouvant lui servir pour effectuer ses transports.

Préparation du sol à remblayer. — Le sol sur lequel devront être déposés les remblais sera nettoyé avec soin; on enlèvera

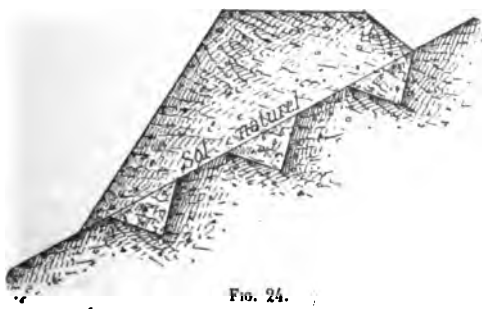


Fig. 24.

les souches d'arbres ou de haies, ainsi que tous autres débris de végétaux.

Lorsque les remblais devront être assis sur un sol présentant une inclinaison transversale prononcée, celui-ci sera dégazonné et taillé par gradins de 50 centimètres à 1 mètre de hauteur, dont la surface supérieure sera inclinée vers le coteau de manière à assurer la liaison des remblais avec le sol naturel (*fig.* 24). Ce travail ne sera exécuté que sur un ordre écrit de l'ingénieur (Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée).

Exécution des remblais sur des terrains vaseux. — Il arrive quelquefois qu'une ligne de chemin de fer traverse des terrains marécageux formés de vases ou tourbes plus ou moins compressibles, comme on en rencontre dans certaines régions de la Normandie, des Ardennes, du Limousin, de l'Auvergne et quelques vallées des Vosges et des Alpes. Ces terrains cèdent alors sous le poids des remblais de la plateforme qui s'affaisse et disparaît parfois en produisant des relèvements du sous-sol à quelque distance pouvant donner lieu à des dommages envers les propriétaires riverains.

Divers moyens peuvent être employés dans ce cas pour donner à l'assiette du chemin de fer une solidité convenable:

1° Observer les tassements du sous-sol et continuer de recharger la plateforme au fur et à mesure de son enfoncement et jusqu'à ce que la pénétration de cette surcharge et le tassement du remblai aient cessé;

2° Établir la plateforme sur une fondation de pieux enfoncés jusqu'au terrain solide; c'est la fondation sur pilotis;

3° Faire le remblai sur un banc de fascines destiné à répartir les pressions sur une plus large base.

1° *Fondation par enfoncement du remblai.* — Le premier procédé semble le plus simple et le plus avantageux. Plus le sol est mou, plus il s'y enfouit de remblai, par conséquent plus le poids de ces nouvelles terres et des terrains émergeant est considérable, et, par suite, moins l'influence de la charge accidentelle résultant du passage des trains paraît sensible.

Il arrive souvent que les terrains vaseux présentent à leur surface une couche d'une certaine épaisseur plus ou moins

résistante, une sorte de croûte qui résiste d'abord et finit par céder sous le poids des remblais ; on se trouve alors dans le cas cité plus haut.

Mais, si cette croûte résiste au poids du remblai, il peut en résulter des accidents beaucoup plus graves, car on peut en effet se demander si cette résistance est absolue, et si l'ébranlement du sol et la surcharge résultant du passage des trains n'amèneront pas une rupture de cette couche et l'engloutissement du remblai.

On doit dans ce cas (et on peut toujours au moyen de sondages s'assurer de l'épaisseur de cette couche) avoir recours à l'expérience directe qui consiste à exécuter le remblai en le surchargeant sur une centaine de mètres, par exemple, de manière à doubler son cube et, par suite, son poids. Alors de deux choses l'une : ou la croûte casse, il n'y a plus de doute, le remblai s'enfonce, et le complément d'essai forme avec lui le commencement du remplissage à faire comme ci-devant; ou la croûte résiste, et alors il n'y a plus de crainte à avoir sur la solidité de la plateforme, surtout quand on en aura diminué le poids. Le remblai en excès est reporté en avant, et la dépense que nécessite cette reprise constitue les frais de l'expérience.

Ce procédé est d'autant plus coûteux que la couche de vase est plus profonde, la dépense étant représentée par le cube enfoui ; mais il est presque toujours le plus avantageux au point de vue économique.

Il a été employé avec beaucoup de succès sur la ligne de Nantes à Châteaulin, aux abords de Redon, par M. Desnoyers qui en a, du reste, fait l'exposé dans les *Annales des Ponts et Chaussées* de 1884, où ont été puisés ces renseignements. Le chemin de fer traverse, sur 3 kilomètres, des vases et tourbes d'une profondeur de 10 mètres en remblai de 3 à 5 mètres de hauteur. Le cube enfoui dans ces conditions a varié du simple au double du cube normal du remblai. Le surcroît de dépense résultant de la mauvaise nature du sous-sol, et qui représente la fondation du remblai, ne s'est élevé qu'à 215 francs par mètre courant; la base du remblai ayant une largeur moyenne de 22 mètres, cela représente une dépense d'environ 10 francs par mètre carré.

2° *Fondation sur pieux.* — L'établissement sur pilotis est un moyen très sûr, mais qui est beaucoup plus dispendieux. Aussi l'emploie-t-on de préférence pour des remblais derrière des murs de quai notamment, car il offre l'avantage de supprimer toute poussée de ces remblais contre les fondations des murs.

Mais, pour un chemin de fer dont les talus sont à leur inclinaison naturelle et où il n'y a pas de poussée à craindre, la seule considération d'économie doit empêcher de recourir à ce procédé. Néanmoins, si la traversée des terrains marécageux était peu considérable et comportait l'emplacement d'un ouvrage d'art, on pourrait l'employer en exécutant le remblai en entier et venant ensuite faire la fouille de l'ouvrage, ce qui présenterait l'avantage de supprimer la poussée sur les pilotis de fondation.

3° *Fondation sur fascines.* — La fondation sur fascines est très répandue en Hollande où elle donne d'excellents résultats et où l'on possède des renseignements assez précis sur le degré de résistance de ces terrains.

Mais, en France où les marais sont peu nombreux, on manque généralement de données sur leur résistance, sur les conditions de fondations des ouvrages qu'on pourrait être conduit à y établir et sur le degré de solidité à en espérer. C'est cette incertitude qui constitue le principal inconvénient du système.

Remblais de rocher. — Si l'exploitation d'une tranchée de rocher est suffisamment importante, on peut employer spécialement les débris rocheux pour la constitution de la plateforme en remblai sur une certaine longueur (*fig.* 25).

Après avoir préparé le terrain, s'il y a lieu, pour y asseoir les premières assises du remblai, on choisit, à cet effet, les débris les plus réguliers et les plus gros que l'on range à la main pour en faire les parements du massif à remblayer, comme on ferait un mur à pierres sèches, en donnant à ces parements une inclinaison qui peut aller jusqu'à 1/2 sur 1. L'intérieur est alors formé par le tout venant et par un déchargement ordinaire, les parties terreuses ou les plus menues

allant se loger elles-mêmes dans les vides intérieurs laissés par les éclats formant les parements.

On peut de cette façon réduire notablement l'empattement

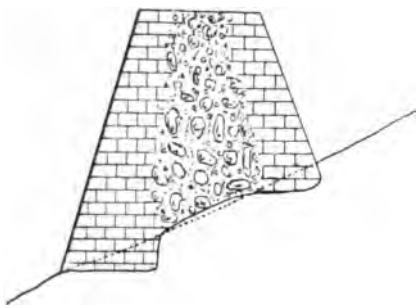


Fig. 25.

des talus, diminuer le cube du massif et augmenter par conséquent la longueur en avancement, ce qui procure une économie sérieuse sur des remblais ordinaires, même en comprenant la main-d'œuvre occasionnée par le choix des pierres et la confection des parements. On obtient de cette manière une plateforme très solide.

Conservation du piquetage. — Les piquets d'axe étant destinés à disparaître, soit dans les tranchées, soit sous les remblais, il est indispensable, avant de commencer les travaux, de repérer le piquetage au moyen de piquets ronds plantés au sommet de la crête des tranchées et au pied du talus des remblais, autant que possible à des distances égales de chaque côté, afin de pouvoir rétablir le tracé facilement après l'exécution.

Les distances et la position de ces piquets sont indiquées sur un plan spécial, soit un exemplaire du parcellaire, par exemple, réservé pour cet usage.

Dans les endroits où les terrassements ne consistent qu'en un léger décapement de la surface, on laisse, quand on le peut, subsister les piquets ou les balises qui ne nuisent pas

aux transports, en ayant soin de réserver autour un bloc de terre de protection : en terme de chantier, un *témoin*.

Installation des chantiers. — L'installation d'un chantier de terrassements doit être faite avec précaution et méthode, de manière que l'ensemble du travail : fouille, transport et déchargement, soit parfaitement en harmonie et réglé avec l'importance des travaux et l'activité qu'on veut leur imprimer et surtout pour éviter les fausses manœuvres qui se traduisent vite par des pertes d'argent. D'une bonne installation dépend souvent le succès d'une entreprise.

Ainsi il importe que la fouille soit réglée sur le débit ou l'emploi des déblais. Ceci dépend surtout de l'entrepreneur qui doit conserver dans son installation sa liberté d'initiative et rester juge de l'emploi des moyens. Les agents de l'Administration ne doivent intervenir que comme direction et surveillance, pour fixer, s'il y a lieu, un maximum d'action et prescrire telles mesures de sécurité qu'il convient d'adopter.

DÉBLAIS

Amorce des tranchées. — Nous avons dit, à propos de l'établissement des formules de transports, que pour les terrassements d'une ligne de chemin de fer la brouette n'est

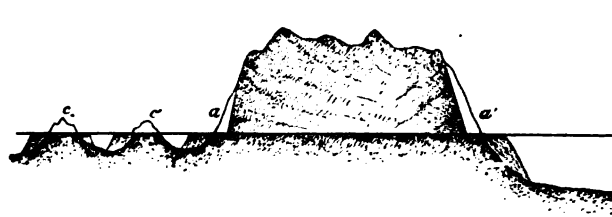


Fig. 26.

employée, pas plus que le tombereau du reste, que pour l'amorce des tranchées, *aa'*, les terrassements peu importants *cc'* (*fig.* 26), ou ceux nécessaires à l'exécution des déviations en dehors de l'axe de la ligne ou aux abords des ouvrages d'art.

Porteur Decauville. — Mais depuis plusieurs années déjà on emploie pour les terrassements de cette nature un porteur roulant sur voie de fer (voie étroite, portative, et facilement démontable), dit *porteur Decauville* à cause des perfectionnements qui y ont été apportés par M. Decauville [1], et qui en font, à cause de sa commodité, un véritable appareil de transport destiné à remplacer tous les autres, même sur des chantiers d'une certaine importance.

Nous avons eu personnellement l'occasion de faire utiliser ce matériel sur des chantiers de terrassements de chemins de fer, et nous en avons retiré les meilleurs services.

Les terrassements peuvent se faire avec le *Decauville* de trois façons différentes et suivant l'importance et l'activité à donner au travail :

1° A bras d'homme ;

2° A traction de cheval ;

3° A traction de locomotive.

Ce porteur se compose de deux parties : la voie et les véhicules servant au transport.

Voie Decauville. — La voie de 0m,50 ou 0m,60 d'écartement

Fig. 27.

est constituée par des bouts de rails d'acier de 5 mètres

[1] M. Decauville possède, à Evry-Petit-Bourg, près Corbeil, des établissements importants pour la fabrication du matériel employé à la construction des chemins de fer, transports de marchandises et voyageurs.

de longueur, d'un poids variant de 4ᵏᵍ,500 à 9ᵏᵍ,500, à jonctions hybrides, avec éclisses rivées ou boulonnées et 5 ou 6 traverses embouties, en acier de 90, 95 ou 125 millimètres, rivées aux rails ou boulonnées suivant le type. Le croquis ci-dessus (*fig.* 27) indique la disposition de ces voies dont la jonction se fait très rapidement, d'une façon excessivement simple et donne, quand le boulonnage des éclisses est terminé, une solidité suffisante pour résister au passage des plus grandes charges.

La voie comporte des parties courbes et des changements avec aiguilles (*fig.* 28), et même des plaques tournantes portatives.

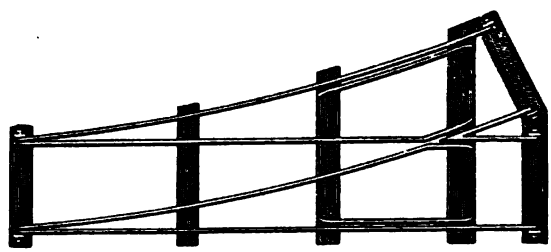


Fig. 28.

Les vagonnets sont en tôle, à caisse à bascule équilibrée, de 3 millimètres d'épaisseur pour les bouts et 2 millimètres pour le fond avec cornières de renforcement et d'une capacité variant de 300 à 1.600 litres, selon les usages auxquels on les destine.

1° *Vagonnet à bras d'homme.* — Au moyen de tourillons dont l'axe se déplace pour en faciliter le renversement, les caisses reposent sur des arcades cornières fixées de chaque bout à un châssis monté sur essieux en acier et roues en fonte ou acier de 0ᵐ,24, 0ᵐ,32 ou 0ᵐ,40 de diamètre suivant le type employé.

Le croquis ci-après (*fig.* 29) indique le type du vagonnet le plus usité pour les transports à bras d'homme; sa caisse, de 1 mètre de longueur, a une contenance de 300 litres; sa voie est du type n° 1, ordinairement de 0ᵐ,50 de largeur,

avec rails d'acier de 4^{kg},500 ; il est monté sur roues en fonte trempée, de 0^{m},24 de diamètre. Son prix est d'environ 103 francs.

La résistance à la traction d'un vagonnet sur voie de terrassements peut être évaluée à 5 à 6 kilogrammes environ par tonne sur un palier, et on estime que chaque millimètre

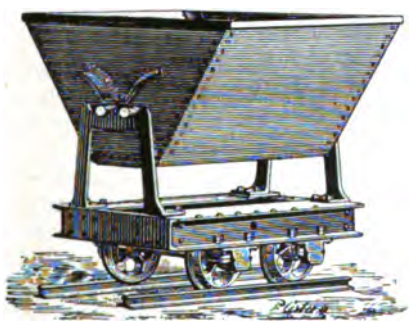


Fig. 29.

de rampe ou de pente augmente ou diminue ce chiffre de 1 kilogramme, ce qui, pour une rampe de 5 à 6 millimètres, porterait cette résistance à 10 ou 12 kilogrammes par tonne.

Le poids d'un vagonnet étant à peu près de 310 kilogrammes avec 0^{m3},50 de terre pesant 800 kilogrammes, cela représente une résistance à la traction d'environ 11 à 12 kilogrammes.

Or on estime qu'un homme de force moyenne peut exercer un effort continu évalué à 12 kilogrammes à une vitesse moyenne de 69 mètres à la minute, soit 3.600 à 4.000 mètres à l'heure (3 kilomètres et demi en charge, et 4 kilomètres et demi à vide) ; un ouvrier ordinaire peut donc pousser facilement un vagonnet de 0^{m3},50 sur une plateforme en remblai, la pente étant la plupart du temps favorable au transport.

Avec le vagonnet de 0^{m3},30, un ouvrier mènerait donc, dans une journée de dix heures, à la vitesse de 4 kilomètres à l'heure :

0^{m3},30 de terre (480 kilogrammes) à 40 kilomètres.

Mais, comme le retour se fait à vide, il ne faut compter que la moitié comme travail utile, ce qui donne alors :

	$0^{m3},30$	à une distance de.....	20	kilomètres
Ou	3 ,00	—	2	—
	6 ,00	—	1	—
	60 ,00	—	100	mètres
Et	180 ,00	—	33	—

tandis qu'à la brouette on ne peut guère compter, comme maximum, que sur un transport de 15 à 20 mètres, en une journée de dix heures et à une distance de 30 ou 33 mètres, ce qui est environ 6 fois moins comme travail produit.

2° *Traction de cheval.* — Pour les transports à traction de cheval, on emploie ordinairement les vagonnets du type ci-dessous (*fig.* 30) avec caisse de $1^m,40$ de longueur, cubant $0^m,50$,

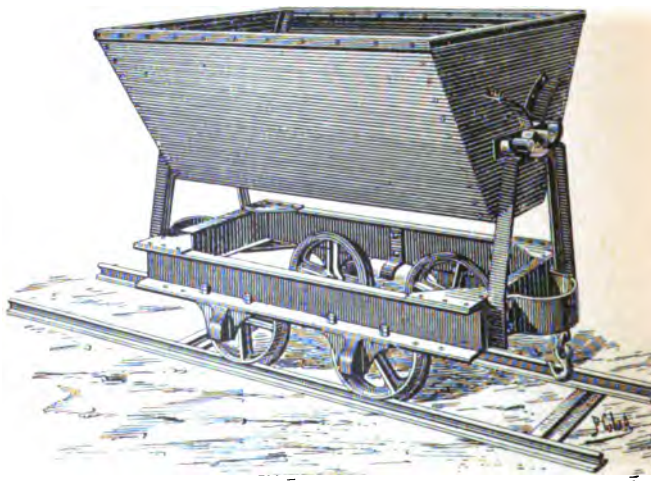


Fig. 30.

sur roues de $0^m,32$ en fonte trempée et boîte à huile ; la voie est de $0^m,50$ ou $0^m,60$, mais plus généralement de $0^m,60$, du

type n° 5 en rails de 7 kilogrammes, avec 6 traverses embouties (par bouts de 5 mètres), en acier de 95 millimètres de largeur, rivées aux rails. Le prix de ce vagonnet est de 171 fr.

Le cheval est attelé au moyen d'une chaîne d'environ 4m,50 de longueur et marche à côté de la petite voie, ce qui la déforme moins ; de cette façon la traction en biais sur voie étroite a moins d'inconvénients sur la stabilité du convoi qu'avec le gros matériel et ne peut occasionner de déraillements.

On estime généralement qu'un cheval de force moyenne, marchant à une vitesse de 60 mètres à la minute, ou 3.600 à 4.000 mètres à l'heure, peut exercer un effort continu de traction évalué à 60 kilogrammes. Sur un terrain à peu près plat, on peut donc lui faire traîner une moyenne de 6 vagonnets et souvent 8, la moindre pente favorisant le transport en charge.

Il traîne donc par voyage, comme poids utile, 0m3,50 × 8, soit 4 mètres cubes de terre (6.400 kilogrammes), sans tenir compte du poids des vagons, ce qui équivaut, dans une journée de dix heures, à un transport de 4 mètres cubes à une distance de 40 kilomètres.

Mais, le retour se faisant à vide, il ne faut compter que la moitié, soit :

4	mètres cubes	à.....	20	kilomètres
10	—	.....	2	—
80	—	.....	1	—

Or nous avons vu, à propos de l'établissement de la formule du transport au tombereau, qu'un cheval ne peut guère transporter plus de 0m3,45 sur un remblai ordinaire, à une distance de 28 à 32 kilomètres, à cause de la difficulté du roulage, ce qui fait, en tenant compte du retour à vide :

0m3,45 à une moyenne de..... 30 kilomètres

soit un cube kilométrique de 13m,50, c'est-à-dire environ 6 fois moindre que le cube transporté au vagonnet.

Le prix moyen de location d'un cheval, conducteur com-

pris, étant couramment de 9 à 10 francs par jour, le transport au vagonnet d'un mètre cube de déblai ressort donc à 12 centimes et demi environ.

On peut encore, avec la traction de cheval. employer le vagon de 750 litres (avec voie de $0^{m},60$ et rails de $9^{kg},500$), plus spécialement adopté pour les transports à la locomotive, surtout si l'on doit plus tard recourir à ce dernier mode de transport.

3° *Traction de locomotive.* — Pour les grands terrassements et surtout si les transports doivent dépasser 12 à 1.500 mètres, on commence, avec le vagonnet à bras d'homme, l'amorce de la tranchée que l'on poursuit avec plusieurs équipes pouvant opérer ainsi des déchargements simultanés, et, dès qu'on le peut, on pose la voie pour employer la locomotive.

L'emploi de la locomotive oblige à se servir d'une voie en rails beaucoup plus forts que s'il s'agissait d'y faire passer des vagons du même poids. Un vagon de 3 tonnes constitue un poids *passif* qui ne pèse que 3 tonnes. Au contraire, une locomotive de 3 tonnes est un poids *actif* qui, par ses efforts, fatigue la voie deux fois plus et, par conséquent, doit être considérée comme pesant 6 tonnes. Cette fatigue augmente encore en proportion de la vitesse du transport.

C'est pourquoi on adopte dans ce cas la voie n° 7 de $0^{m},60$ d'écartement, en rails d'acier de $9^{kg},500$, avec traverses en acier en ⊓ de 125 millimètres sur $0^{m},025$, débordantes de $0^{m},150$.

La locomotive généralement employée est du type n° 1, du poids de 3 tonnes à vide, et de 4 tonnes avec approvisionnement complet (*fig.* 31). Cette locomotive est à deux essieux accouplés distants de 850 millimètres avec roues de $0^{m},500$; sa vitesse théorique est de..... $13^{km},5$
La vitesse correspondant au maximum de traction est de..... 9^{km}
La consommation d'eau par kilomètre parcouru est de..... 21 litres
Celle de combustible est de..... $2^{kg},750$
Et le parcours avec approvisionnement complet correspond à..... $17^{km},00$
Elle peut passer dans des courbes d'un rayon de 10 mètres

On peut, comme on le voit, se passer d'un tender, car il est toujours facile d'avoir à proximité du chantier un hangar, magasin ou dépôt pour les ateliers et le combustible et une alimentation d'eau provisoire pour la locomotive qui renouvelle ainsi ses provisions, par exemple après avoir fait 8 voyages à 1 kilomètre aller et retour. Le prix de la locomotive est de 8.850 francs.

Fig. 31.

Cette locomotive peut remorquer les charges suivantes à différentes vitesses et sur différentes rampes, la résistance à la traction étant comptée à 10 kilogrammes par tonne:

SUR RAMPES DE (PAR MÈTRE)	VITESSE A L'HEURE DE 9 KILOMÈTRES	VITESSE A L'HEURE DE 13km.500
millimètres	tonnes	tonnes
0	47,5	40
5	30 »	24
10	22,2	18
15	16,2	13,5
20	12,8	10
25	10,5	9
30	8 »	7
35	7 »	
40	6.5	
45	5,5	
50	5 »	

Les meilleurs vagons pour terrassements avec locomotive sont les types cubant 750 litres et 1 mètre cube, dont les prix sont respectivement de 251 et 316 francs.

On fait avec ce matériel un travail considérable avec un cheval à la charge pour former les trains et un autre à la décharge pour la manipulation des vagons. La locomotive ne circule ainsi que sur les voies solides et ne perd jamais de temps dans les manœuvres de chantier à chaque extrémité.

M. Debauve, dans son *Traité de chemins de fer* (chapitre II, *Transports*), fait une étude très complète et très détaillée des divers procédés de transports généralement usités sur des chantiers très importants. Il donne la formule suivante pour le porteur Decauville :

$$0{,}225 + 0{,}000412\,d + 0{,}0000002\,d^2,$$

dans laquelle le premier terme se rapporte à l'entretien et à l'amortissement du matériel et de ses accessoires, et les deux derniers termes à l'entretien et à l'amortissement de la voie.

La comparaison entre les diverses formules de transports dans leur application à des distances de 500, 1.000, 1.500 et 2.000 mètres met en évidence l'avantage des engins perfectionnés et montre que l'emploi du vagonnet et de la voie portative est avantageux jusqu'à 700 mètres ; au delà c'est le vagon à traction d'un ou deux chevaux qui l'emporte.

Avantages de la voie Decauville. — Les avantages de la voie Decauville, notamment sur la brouette et le tombereau, sont incontestablement considérables, et on doit, pour des terrassements ordinaires, en préconiser l'emploi toutes les fois qu'on peut l'utiliser d'une manière continue.

D'après l'expérience que nous avons pu en faire, ses avantages sont appréciables aussi au point de vue de l'utilisation du moteur animé.

Le transport à traction de cheval est pratique et avantageux, tant que les distances ne dépassent pas 500 mètres, un

cheval pouvant encore dans ces conditions faire quatre voyages par heure, et aussi quand on se trouve dans des terrains secs, plus ou moins sablonneux ou mélangés de gravier, en un mot ne retenant pas l'eau ou séchant facilement.

Mais si les transports doivent se faire à de grandes distances, même à 12 ou 1.500 mètres seulement, ou qu'on se trouve dans des terres argileuses se détrempant à la moindre pluie, des flaques d'eau se forment bientôt entre les traverses et rendent la voie impraticable et inaccessible aux chevaux au point d'interrompre les transports.

On admet généralement qu'une voie de terrassements bien entretenue présente une résistance moyenne à la traction de 5 à 6 kilogrammes par tonne ; cette résistance augmente ou diminue de 1 kilogramme par millimètre de rampe ou de pente.

Un vagon ordinaire de terrassements cubant $1^{m},50$ et pesant 3 tonnes (600 + 2.400) en charge donne lieu, par conséquent, à un effort de traction de 15 à 20 kilogrammes. Or un cheval pouvant exercer un effort continu de 55 à 60 kilogrammes traînera facilement 3 vagons en charge, d'autant plus qu'en exécution la pente de la plateforme est presque toujours favorable au transport.

Si on veut augmenter le débit et le transport, il faut prendre des vagons de 3 mètres et atteler 2 chevaux qui peuvent mener 4 vagons, ce qui déforme la voie un peu plus vite. On fait rarement des attelages de 3 chevaux à cause des pertes de temps et de travail utile qui en résultent.

On doit alors, si on veut obtenir un fort débit, avoir recours à la locomotive, ce qui entraîne immédiatement dans des dépenses considérables.

Le choix du matériel dans cette circonstance est déterminé par diverses considérations : l'utilisation d'un matériel déjà acquis et se trouvant sans emploi ; l'acquisition à moitié prix, comme c'est d'usage après deux ans de service, d'un matériel d'occasion venant d'une autre entreprise ; l'importance du travail ; enfin et surtout des ressources dont dispose l'entrepreneur.

Pour un matériel ordinaire de terrassements, on compte

généralement, au neuf, savoir :

	Francs
Locomotive de 8 tonnes, à voie de 1 mètre, à 2 francs le kilogramme	16.000
24 vagons (3 rames de 7 + 3 de réserve) cubant 1m,50, à 350 francs	8.400
1 kilomètre de voie avec rails de 12 kilogrammes, à 11 fr. 50 le mètre	11.500
On arrive à un total de	35.900

Soit à peu près 36.000 francs, à quoi il convient d'ajouter, pour déplacement, intérêt et amortissement de ce matériel et entretien de la voie, 25 0/0 environ, ce qui représente une mise de fonds de 45.000 francs.

Pour la voie Decauville, on compte ordinairement :

	Francs
1 locomotive type n° 1 de 3 tonnes	8.850
24 vagons (comme ci-dessus) cubant 750 litres, à 251 francs	6.000
1 kilomètre de voie en rails d'acier n° 7, de 7kg,50, à 7 fr. 15 l'un	7.150
2 bouts de rails courbes, 2 croisements, 2 mouvements, soit	500
On arrive à un total de	22.500
Si on ajoute, pour intérêt et amortissement, 15 0/0, l'entretien de la voie étant moindre que précédemment, on arrive à une mise de fonds d'environ	25.850

L'avantage est encore ici au matériel Decauville qui donne une économie de 20.000 francs sur l'achat du gros matériel, c'est-à-dire près de moitié, ce qui est à considérer dans une entreprise.

Examinons le travail qu'on peut produire avec ce dernier matériel pour un transport à 1.500 mètres par exemple, même en rampe de 0m,015 à 0m,020.

La locomotive Decauville peut faire 4 voyages par heure à

une vitesse de 12 kilomètres avec 7 ou 8 vagons de 750 litres pesant chacun 1^{T},2 en charge, soit un tonnage inférieur au chiffre indiqué pour la force de cette locomotive. Ce travail correspond à un cube de 24 à 25 mètres à l'heure et à un débit journalier de 250 mètres. On pourrait ainsi vider, dans une campagne de sept à huit mois, une tranchée de 50.000 mètres, ce qui constitue une activité suffisante pour un travail de cette importance.

Organisation de la fouille. — Quel que soit d'ailleurs le mode de transport à adopter, l'attaque d'une tranchée de quelque importance se fait presque toujours en *cunette*. On appelle ainsi une galerie centrale *a'* que l'on ouvre dans la direction de l'axe de la ligne et que l'on descend généralement jusqu'au niveau de la plateforme et pouvant donner passage à deux rangées de vagons en chargement (*fig.* 32).

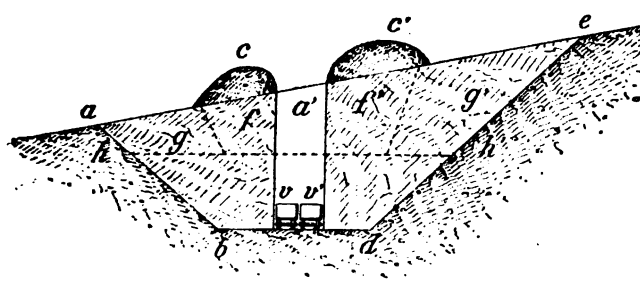


Fig. 32.

On pose ensuite les deux voies de chargement *vv'*, en ménageant une légère pente du côté de l'ouverture de la cunette, tant pour l'écoulement des eaux que pour faciliter le démarrage des vagons.

Si les terres sont solides, les parois de cette cunette peuvent être tenues à peu près verticalement; autrement, on les dispose en redans successifs; les terres qui en proviennent sont retroussées en cavaliers de chaque côté, et l'excédent transporté en remblai au tombereau pour continuer l'amorce de la tranchée.

La cunette est prolongée aussi loin que possible, afin de permettre le chargement sur une plus grande longueur et donner au chantier tout le développement que comporte l'exécution.

Le chargement se fait ainsi latéralement sur toute la longueur du convoi et en bout du dernier vagon par l'extrémité fermée de la cunette. On enlève d'abord les terres retroussées, et on entame ensuite la tranchée de chaque côté, la charge se faisant ainsi par un simple jet de pelle.

Quand la cunette devient trop profonde, par suite de la hauteur du sommet de la tranchée, on enlève d'abord le cube correspondant à la demi-hauteur *ahh'e*, en commençant par les cubes *ff'* et ensuite *gg'* qui sont amenés, s'il y a lieu, au moyen de la brouette dans les vagons en chargement, en ayant soin toutefois de se tenir, pour l'enlèvement des terres, sensiblement en dessus du plan déterminé par les talus définitifs de la tranchée. Le règlement des talus ne se fait qu'en dernier lieu.

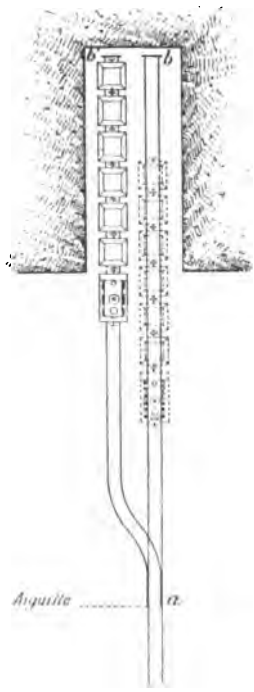


FIG. 33.

Chantier de chargement. — On pose généralement deux voies dans la cunette et sur une certaine longueur en dehors; l'une pour les vagons en chargement, l'autre pour le convoi vide revenant du déchargement. Le croquis ci-contre (*fig.* 33) montre la disposition d'un chantier établi dans des conditions ordinaires. Les vagons se trouvant en chargement sur la voie *ab'*, le convoi en retour du déchargement est refoulé machine en arrière sur la voie *ab* jusqu'à l'emplacement qui lui est réservé; la ma-

chine est détachée ; puis, après avoir aiguillé en *a*, va prendre la tête du convoi en chargement pour le conduire à la décharge. Au prochain voyage le train vide est refoulé par l'aiguille *a* sur la voie *ab'*, et ainsi de suite.

Si le transport est effectué à traction de chevaux, l'opération se fait de la même façon.

Extraction par abatage. — Pour l'enlèvement à fond des

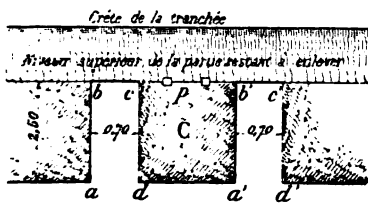


Fig. 34.

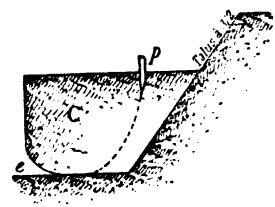


Fig. 35.

cubes latéraux, on emploie quelquefois un procédé par *abatage* qui présente, il est vrai, des inconvénients et nécessite de grandes précautions au point de vue de la sécurité, mais qui procure une grande économie.

Normalement au front d'attaque et au plan du talus on ouvre deux cheminées de 0m,70 à 0m,80 de largeur, distantes de 3 à 4 mètres et d'environ 2m,50 de profondeur (*abcd* et *a'b'c'd'*) déterminant ainsi un bloc C qui ne tient plus au reste que par la base et une face verticale *cb'* (*fig.* 34 et 35). On creuse alors une sorte de saignée *e* en forme d'excavation à la partie inférieure, pour en faciliter le détachement ; puis, on fait enfoncer, à coups de masse, un avant-pieu en fer ou en bois saboté et à tête frettée *p* (*fig.* 35 et 36), de façon à provoquer la chute de ce bloc. On a soin de placer un surveillant un peu en arrière du pieu, pour observer les mouvements qui peuvent se produire dans le sol ébranlé et avertir les ouvriers occupés à la partie inférieure d'avoir à s'éloigner dès que la chute du massif est

Fig. 36.

imminente, de manière à ne pas être atteints par les débris.

On arrive par ce moyen, en une seule fois, à détacher des masses de déblais qui atteignent 25 à 30 mètres cubes, prêts à être chargés.

Excavateur. — Sur des chantiers considérables et pour des tranchées de très fortes dimensions, certains grands entrepreneurs emploient avec beaucoup de succès un appareil appelé *excavateur*. C'est un genre de drague absolument semblable à celles qui sont employées pour les déblais dans l'eau et qui est portée par un châssis sur rails. L'appareil enlève les déblais, soit en décapement, soit en fouille, au moyen de cuillères ou de caisses métalliques à renversement ou se déversant par un mouvement automatique du fond, montées sur une chaîne à godets tournant autour d'un bâtis incliné appelé *élinde* ou *élingue*, soutenu par des palans, permettant de lui donner l'inclinaison voulue par les fouilles. Les déblais contenus dans ces caisses sont ainsi versés dans des vagons, disposés pour les transporter en remblai ou dans un couloir incliné qui les amène dans ces vagons.

Un des premiers excavateurs employés en France est l'excavateur Couvreux, du nom de son inventeur, breveté en 1859. Spécialement destiné aux grands travaux de chemins de fer, il fut employé successivement à la ligne de Sedan à Thionville, de 1860 à 1863 ; au canal de Suez, de 1863 à 1868 ; aux travaux du Danube, de 1869 à 1875 ; aux travaux du port d'Anvers, 1876 à 1879.

Le travail produit par un excavateur est très variable et dépend de la nature du sol, du volume des godets et de la force de la machine par laquelle il est actionné. Il peut produire couramment un cube de 100 à 120 mètres à l'heure. M. Auguste Moreau, dans son *Traité de chemins de fer*, en fait une description très complète et rapporte qu'à Panama, où cet appareil a fonctionné, il a donné un débit de 265 mètres cubes à l'heure, avec des godets de 200 litres en décapement et de 275 litres en fouille. Cet appareil est très répandu en Angleterre et en Amérique. En France, où les terrassements reviennent à environ 0 fr. 60 à 0 fr. 80 le mètre cube, l'excavateur a rendu de grands services sur d'importants chantiers ;

son fonctionnement entraîne une dépense de 100 à 130 francs par jour, mais il procure sur les prix d'exécution une économie qui varie de 50 à 70 0/0.

Principales tranchées de chemins de fer. — Parmi les plus grandes tranchées connues et débitées par les procédés ordinaires, on cite :

Celle de Tring, sur le chemin de fer de Birmingham, cubant 1.100.000 mètres cubes ;

Celle de Gadelbach, sur la ligne d'Ulm à Augsbourg, cubant 1.000.000 mètres cubes ;

Celle de Tabatsofen, dont on a extrait 800.000 mètres cubes;

Celle de Cowran, sur la ligne de Carlisle (Cumberland), qui a fourni 700.000 mètres cubes ;

Celle de Blisworth, sur le chemin de Birmingham, qui cubait 620.000 mètres ;

Celle de Pont-sur-Yonne, chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée, qui cubait 470.000 mètres ;

Celle de Poincy, sur le chemin de Strasbourg, qui cubait 500.000 mètres ;

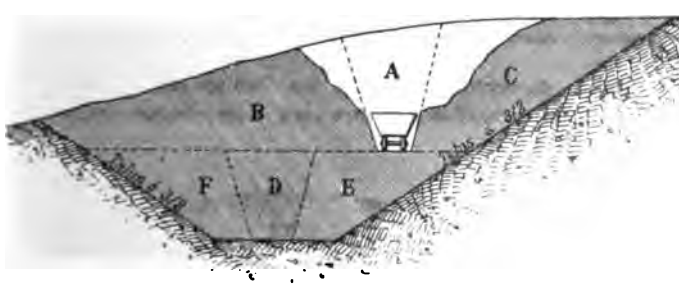


Fig. 37.

Celle de Clamart, chemin de fer de Versailles (rive gauche), dont on a extrait environ 400.000 mètres cubes.

M. Perdonnet, dans son *Traité de chemins de fer*, donne le procédé suivant employé pour l'exploitation des déblais de cette dernière tranchée.

Après avoir percé le goulet A (*fig.* 37), en retroussant les terres, on a enlevé les cubes B et C sur une certaine longueur ;

puis, on a ouvert le goulet D et enlevé les terres en E et en F. Le remblai a été fait en deux assises ; on a descendu les terres de A, B, C au niveau supérieur du remblai, au moyen d'un plan automoteur établi dans la tranchée, et du niveau supérieur du remblai à celui de la tranchée inférieure au moyen d'un second plan automoteur placé sur le remblai. On est parvenu à extraire ainsi par une seule extrémité de cette tranchée, à transporter à près de 2 kilomètres et à décharger en remblai près de 2.000 mètres cubes par jour pendant les grands jours d'été, chiffre qui est rarement dépassé. Néanmoins, le cube maximum de terre fouillée et enlevée à la tranchée de Pont-sur-Yonne a été de 2.850 mètres par jour ; la distance de transport était moyennement de 2.800 mètres, et la distance maximum de 3.500 mètres.

Les travaux des trois premières tranchées indiquées ci-dessus ont duré plusieurs années.

Les procédés d'extraction que nous venons d'indiquer sont impraticables dans le rocher et ne peuvent, d'ailleurs, être employés que quand on se trouve dans des terrains solides ou de consistance moyenne ; dans des terrains mouvants, on ne pourrait pas ouvrir de cunette sur une grande profondeur, à cause des éboulements qui pourraient en résulter.

Déblais de rocher. — Pour les déblais de rocher, on emploie des procédés spéciaux qui, dans chaque cas, sont

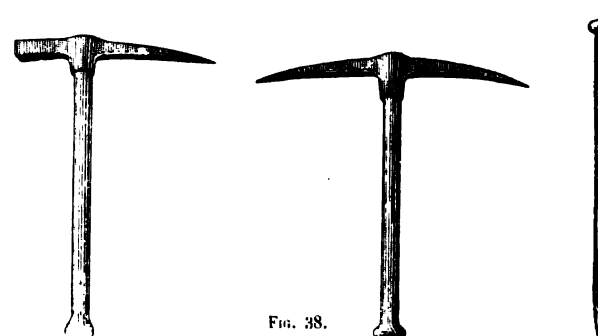


Fig. 38.

prescrits par les ingénieurs ou par le devis : le *pic*, le *double-*

pic et la *pince* (*fig.* 38), quand le rocher est d'une dureté moyenne ; la mine, au moyen de la poudre ou de la dynamite, ce qui est plus expéditif, quand on a un fort cube à extraire. On perce, à cet effet, avec des fleurets, à coups de marteau, ou avec la barre à mine manœuvrée à la main, une série de trous que l'on charge de poudre et que l'on bourre fortement jusqu'à l'orifice, en ménageant seulement le passage d'une mèche, ou fusée, pour y mettre le feu. Plusieurs mines, espacées de 0m,50 à 1 mètre, ainsi chargées, produisent par leur explosion simultanée ou successive, selon les circonstances, la désagrégation d'une masse de rocher prête à être débitée et ensuite transportée en remblai ou en dépôt pour un autre usage, soit comme matériaux de construction, soit comme ballast après cassage.

Limite du débit de la fouille. — Nous avons vu, plus haut, que le chantier de fouille et de charge peut, par ses dispositions et ses dimensions en longueur surtout, recevoir toute l'activité dont on a besoin. Son débit, variable avec le nombre d'ouvriers qui y sont occupés, peut parfois être supérieur aux exigences du mouvement, mais doit être généralement réglé et limité par la décharge qui se fait ordinairement en avancement plutôt qu'en élargissement. La largeur restreinte de la plateforme ne permet guère son exécution par portions latérales ; le déchargement en bout au moyen de vagons pivotant autour d'un axe transversal est le seul moyen de produire effectivement l'avancement. Les terres s'étalent ainsi naturellement en avant et par côté à l'aide d'un régalage du bourrelet résultant de la décharge, et forment, de cette manière, la plus grande partie du noyau de la plateforme, en déterminant à peu près l'empattement complet des talus. Il ne reste que très peu à ajouter latéralement pour compléter la largeur du massif de la plateforme.

D'après cela on comprend que l'outillage d'un chantier dépend de l'importance de celui-ci et de l'activité qu'on veut donner au travail.

Outillage d'un chantier. — Pour un chantier de terrassements d'une certaine importance, l'entrepreneur doit dispo-

ser de l'outillage et du matériel nécessaires, notamment :

Une locomotive (de 8 à 10 tonnes système ordinaire, ou de 3 à 4 tonnes système Decauville) ;

18 à 24 vagons cubant au moins 1m,50, ou le même nombre du type Decauville ;

Un mécanicien et un aide ou chauffeur ;

Un atelier de charronnage pour la réparation des vagons ;

Un ou plusieurs forgerons pour la réparation des outils et du matériel, si l'on est éloigné d'un centre quelconque ; dans ce cas, il doit y avoir à proximité du chantier dans une remise servant à la machine, une forge roulante avec ses accessoires ;

Un nombre d'ouvriers terrassiers réglé sur l'activité du chantier ;

Un cheval à la charge pour la manipulation des vagons et la formation des trains ;

Un cheval de *lance* à la décharge, avec 3 hommes, au moins, pour la manipulation des vagons, le régalage des terres, le relevage, le ripage et l'allongement des voies de déchargement.

REMBLAIS

Organisation du déchargement. — Le plus ordinairement, un chantier de décharge s'organise de la manière suivante :

Décharge simple. — Après avoir posé la voie sur la plateforme déjà exécutée au moyen des procédés de transport dont on a disposé, on ménage, à quelques mètres du point de déchargement, une deuxième voie dite de *garage* ou de *remisage*, d'une longueur suffisante pour recevoir au moins deux rames de 6 à 10 vagons.

A l'extrémité du remblai la voie est légèrement inclinée vers la décharge si on emploie le gros matériel, et on y empile 2 ou 3 traverses noyées dans le remblai formant ainsi un bourrelet ou heurtoir pour les vagons (*fig.* 39).

Quand un train arrive chargé, il est reçu sur la voie AB ; la

locomotive se détache et revient par l'aiguille *a'* et la voie B' jusqu'au chantier de charge chercher un second train. Au moyen du cheval de lance, on détache le premier vagon qui est amené en B ; le mouvement qui lui est ainsi imprimé et le choc du heurtoir suffisent à provoquer le renversement de la caisse du vagon et opérer le déchargement. Ce vagon est immédiatement poussé sur la voie B' au moyen du cheval de lance, que l'on attelle aussitôt au deuxième vagon chargé pour l'amener au déchargement, et ainsi de suite pour les autres vagons de la rame.

Une installation normale doit comprendre 3 rames de 6 à 8 vagons de l'un ou l'autre type : une en chargement, la seconde en déchargement, et la troisième en route soit vide, soit chargée.

Après le voyage que nous venons d'indiquer, la locomotive, revenue au chantier de charge, en repart avec un des deux convois en chargement et vient comme précédemment sur la voie AB; elle se détache du train qui est livré alors à l'équipe de déchargement, et, passant sur la voie B', refoule la rame vide qui s'y trouve jusqu'au chantier de chargement pour revenir alors avec un nouveau train chargé, et ainsi de suite.

Comme on le voit, ces trois opérations doivent être parfai-

Décharge simple

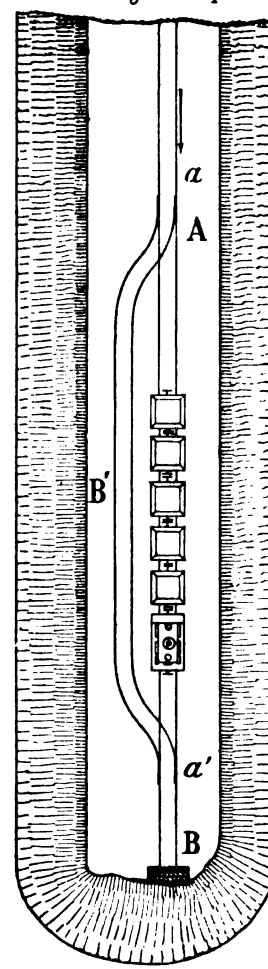


FIG. 39.

tement équilibrées, pour qu'il n'y ait ni fausse manœuvre, ni perte de temps ; la charge, pas plus que la décharge, ne doit être arrêtée un seul instant. Au début du travail, alors que les transports se font à de courtes distances, la locomotive peut avoir des arrêts à l'une ou l'autre extrémité du chantier; mais, quand ces distances augmentent, l'équilibre s'établit. L'expérience indique, d'ailleurs, rapidement les points où l'activité doit être augmentée.

Décharges double et triple

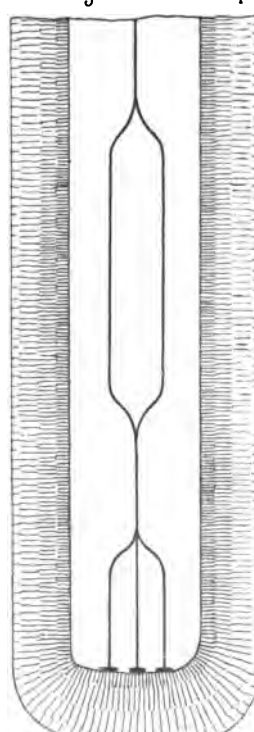


Fig. 40.

Avec cette installation, si on emploie du gros matériel et pour un transport à 1 kilomètre par exemple, on peut faire en moyenne 4 voyages par heure avec un minimum de 6 vagons, ce qui donne environ 30 mètres cubes, soit à peu près 300 mètres cubes dans une journée de dix heures; on pourrait ainsi vider une tranchée de 30.000 mètres en quatre mois de travail, ce qui constitue une marche normale.

Décharges double et triple. — Si ce débit était insuffisant, on pourrait l'augmenter en installant une décharge double ou même triple, comme l'indique M. Sévène dans son *Cours de Chemins de fer* (*fig.* 40).

En doublant, par exemple, les voies de décharge, on double aussi la largeur en couronne de l'avancement, et le cube à ajouter latéralement devient presque nul.

On peut aussi poser trois voies de décharge de front, car on peut réduire la largeur d'entrevoie exigée pour les voies définitives, et dans ce cas le cube correspondant au déchar-

gement latéral disparaît complètement. Mais, dans l'un et l'autre de ces deux cas, les sujétions relatives à l'usage du tronc commun par les vagons allant à la décharge occasionnent des pertes de temps qui diminuent le débit. Avec deux décharges on ne dépasse guère un cube journalier de 450 mètres, ce qui en dix mois suffirait à vider une tranchée de 1.000.000 à 1.200.000 mètres cubes ; cela constitue déjà une tranchée considérable. Mais il est rare qu'on soit obligé d'employer ces derniers procédés et qu'une tranchée de cette importance soit enlevée par une seule décharge ; on l'attaque presque toujours des deux bouts à la fois.

Décharge au Decauville. — Le déchargement des vagons

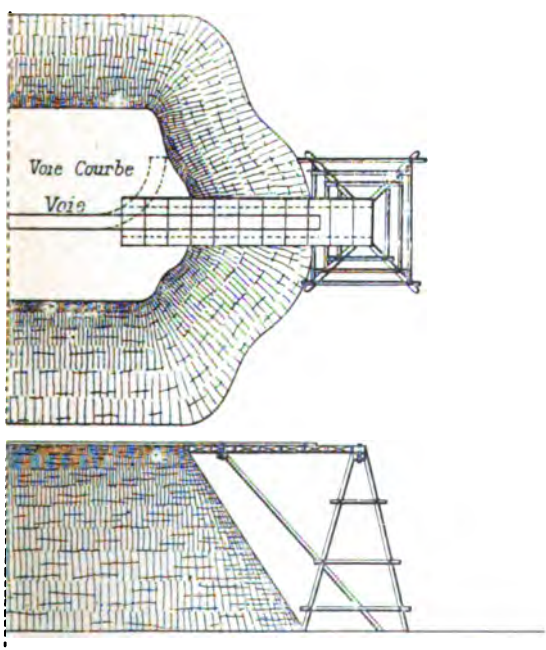


Fig. 41

Decauville se faisant en bascule par côté le plus ordinaire-

ment (il existe des vagons basculant par bout), on peut obtenir néanmoins l'avancement en remblai, avec ce matériel, soit au moyen du ripage des voies à leur extrémité, ce qui est toujours très facile à faire, soit par la pose d'un bout de voie courbe permettant de faire un déchargement normal à cette extrémité, soit par un régalage successif et en avant de la décharge restant sur la plateforme (*fig.* 41).

On peut aussi placer sur l'extrémité du remblai un petit échafaudage permettant de recevoir un ou deux vagonnets qui, en versant les remblais de chaque côté, en avant de la plateforme normale, forme un massif central s'élargissant successivement.

Tassement des remblais. — *Surélévation.* — Le mode de déchargement des remblais à pleine hauteur a pour conséquence des tassements assez considérables de la plateforme après l'exécution, surtout après une période de pluies. On tient compte de cette circonstance en donnant aux terrassements une hauteur telle qu'après le tassement la plateforme soit à peu près à son niveau définitif. Le relèvement est ordinairement du $\frac{1}{12}$ de la hauteur du remblai et prend la forme ci-dessous (*fig.* 42); il est, comme on le voit, plus sensible

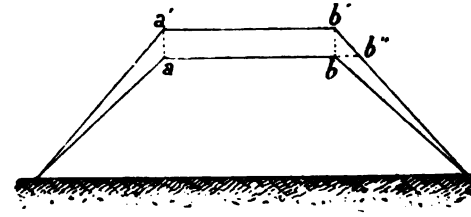


Fig. 42.

sur le couronnement de la plateforme que sur les talus qui ont pris à peu près immédiatement leur épanouissement définitif.

Cette surélévation est généralement donnée aux remblais quand la pose des voies doit se faire longtemps après; au bout de six mois, le tassement est à peu près complet, bien

que dans certaines circonstances on en ait encore remarqué les effets quelques années après l'exécution.

Si la mise en exploitation doit néanmoins suivre de trop près l'exécution des terrassements on ne peut guère exécuter le relèvement de la plateforme *aa'* qui diminuerait trop la couche de ballast ; l'effet du tassement est alors racheté par des couches successives de ballast qui remettent ainsi progressivement la voie à sa cote normale. Mais, afin de laisser plus tard à la plateforme son profil définitif, il est nécessaire de lui donner avant le ballastage le supplément de largeur *bb'* correspondant au tassement des talus, pour n'avoir rien à y ajouter ensuite, car les élargissements ultérieurs sur les talus ne constitueraient qu'un placage sans cohésion avec le reste du remblai et, par suite, sans aucune solidité.

Précautions aux abords des ouvrages d'art. — Avec la décharge à pleine hauteur on est, en outre, obligé de prendre certaines précautions aux abords des ouvrages d'art sur lesquels doit passer le remblai, car les terres arrivant brusquement et avec une certaine force contre les maçonneries des piédroits pourraient les détériorer ou même les renverser. Ces précautions énumérées au devis sont généralement les suivantes :

Dès que le pied des talus du déchargement arrive près des maçonneries d'un ouvrage, une équipe d'ouvriers prend, à la brouette, dans ces talus, les terres nécessaires aux remblais autour et de chaque côté des maçonneries et les monte en les pilonnant avec soin jusqu'au-dessus de la voûte, que l'on enveloppe ainsi d'un massif qui la préserve du choc occasionné par la chute des remblais. Le passage des vagons sur l'ouvrage et le déchargement sur la voûte ne peuvent avoir lieu que quand celle-ci est recouverte d'une couche de remblai d'au moins 1 mètre à 1m,50 suivant l'importance de l'ouvrage.

Rétablissement du piquetage de l'axe. — Les tranchées étant complètement vidées, on procède au rétablissement du piquetage et au nivellement des piquets d'après les repères établis précédemment. On emploie, comme pour le tracé

définitif, des piquets encochés que l'on enfonce à la cote rouge du profil en long; une pointe placée sur la tête de chaque piquet indique exactement l'axe du tracé. Cet axe n'est rétabli sur les remblais qu'après le tassement complet des terrassements.

Règlement des talus. — Il ne reste plus alors pour les tranchées qu'à faire le règlement et le dressement des talus et l'ouverture des fossés pour l'écoulement des eaux qui pourraient raviner la plateforme.

Le pied et la crête des talus étant parfaitement déterminés par de petits piquets, on décape la surface d'après des saignées de 20 à 30 centimètres de largeur espacées de 2 à 3 mètres, dressées au cordeau suivant le gabarit du profil définitif de la tranchée déterminé par des liteaux cloués sur des piquets (*fig.* 43). Ces saignées, appelées des **M** en terme de

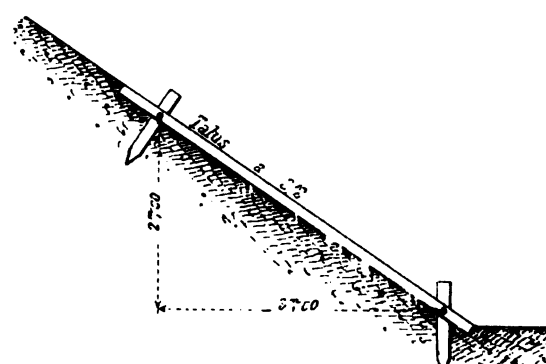


Fig. 43.

chantier, servent ainsi de repères entre lesquels il n'y a plus qu'à enlever les terres en saillie sur le plan régulier des talus.

Le règlement des talus de remblai ne se fait qu'après le tassement complet.

C'est l'ouvrage d'une catégorie de terrassiers appelés *taluteurs*, qui ont vite acquis une certaine habileté dans ce travail spécial.

Fossés. — Une fois les talus dressés et réglés, on procède à l'ouverture des fossés. Ceux-ci, d'après le type ordinaire, ont généralement 0m,80 d'ouverture en gueule, 0m,30 en plafond, et 0m,25 de profondeur. Quelquefois, afin de faciliter l'écoulement des eaux sur la plateforme, on donne à celle-ci

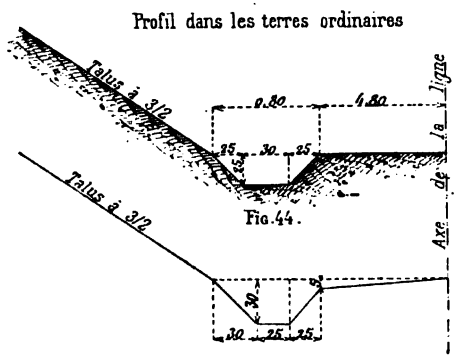


Fig. 44.

Fig. 44 *bis*.

une pente transversale de 0m,05. Le fossé conserve sa largeur en gueule de 0m,80 ; mais, comme sa profondeur a augmenté de 0m,05 pour conserver aux revers l'inclinaison de 45°, on réduit la largeur en plafond à 0m,25, ce qui est peu appréciable en exécution et n'offre aucun inconvénient (*fig.* 44 et 44 *bis*).

Dans les terrains argileux et humides, il est quelquefois nécessaire d'établir les fossés avec des revêtements en pierres sèches ; on leur donne alors la disposition indiquée au profil ci-après (*fig.* 45) ; on dresse le fond de la fouille à 0m,45 en contre-bas de l'arête de la plateforme, le revêtement est fait en moellons bruts, sans parement, choisis parmi les plus réguliers et dégrossis seulement d'un coup de marteau.

Quand les fossés doivent assurer un écoulement d'eau permanent, il convient de leur faire un revêtement en maçonnerie avec radier en béton et des barbacanes de distance en distance, tous les 2 à 3 mètres, suivant les circonstances. Dans ce cas on garnit la face postérieure des maçonneries,

du côté des terres, d'un blocage en pierres brutes formant

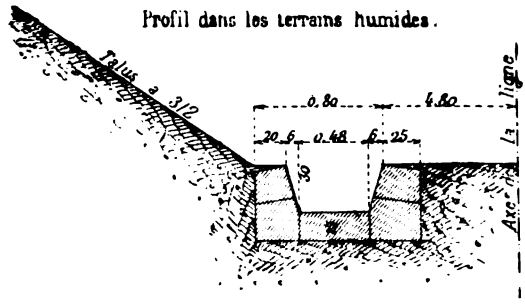


Fig. 45.

drain pour recevoir les eaux provenant de la tranchée (*fig.* 46).

Dans les tranchées de rocher, la largeur de la plateforme est ordinairement de 9m,10. On ménage de chaque

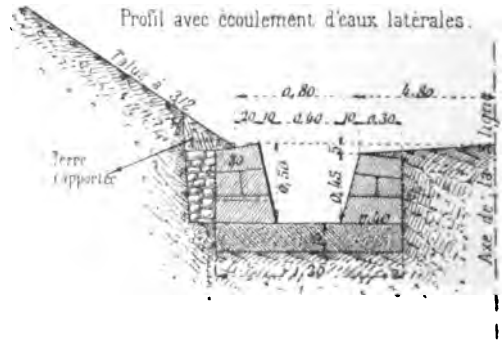


Fig. 46.

côté, pour l'écoulement des eaux, un petit fossé auquel on fait un revêtement en pierres sèches ou en maçonnerie à mortier avec barbacanes du côté du ballast. Ces fossés sont recouverts, de 20 en 20 mètres environ, par des dalles ayant 2 mètres de largeur. Les murettes sont montées à environ 0m,10 au-dessus du niveau de la plateforme, de manière

que le couronnement corresponde à peu près au pied du talus de la banquette du ballast (*fig.* 47). On obtient les barbacanes en ménageant, tous les 2 mètres au plus, des joints

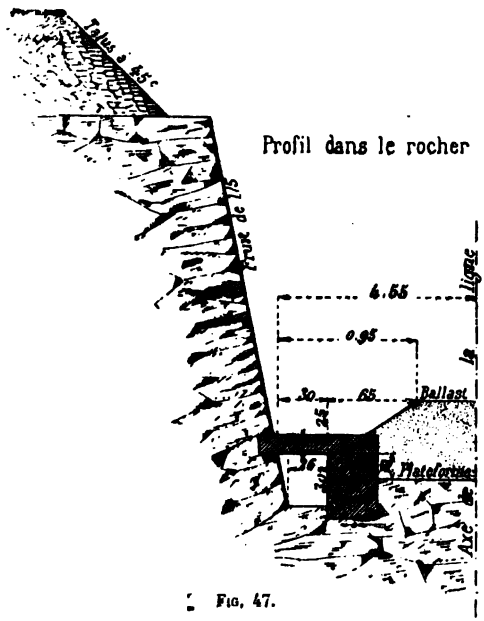


Fig. 47.

sans mortier d'environ 0m,05. On pratique dans le parement du rocher, à la hauteur de la murette établie du côté de la plateforme, une entaille pour y placer la dalle de recouvrement du fossé.

§2. — Consolidation de talus

La question des consolidations de talus est un des points les plus importants de l'exécution des terrassements, et

qui présente beaucoup d'aléa ; elle mérite à ce titre d'être traitée avec quelques détails. Les cas étant nombreux et variés, on ne peut certainement les envisager tous ; on ne peut donner que des indications sur les principes généraux dont l'application dépend absolument des circonstances.

En général les causes de dégradations des talus proviennent ou de l'extérieur ou de l'intérieur.

DÉGRADATIONS PROVENANT DE L'EXTÉRIEUR

Il arrive en effet souvent que des terrains argileux, même très mamelonnés, se tenant par eux-mêmes très bien en équilibre, présentent peu de cohésion, à leur surface, dès qu'on y a fait un certain travail, ou qu'on y a ouvert une tranchée. Les talus taillés dans des terres mélangées d'argile s'altèrent et se décomposent au contact de l'air ou sous l'action plus ou moins destructive des eaux provenant des terrains supérieurs et qui en ravinent la surface.

Pour ces accidents qui proviennent de causes extérieures, le remède est tout naturel et consiste à mettre les talus à l'abri de l'action destructive des agents atmosphériques.

Fossés de crête. — On les préserve d'abord des eaux venant des terrains supérieurs en établissant au sommet de la tranchée un fossé de crête, dont on dirige les pentes sur chacun des versants de la tranchée et auquel on ménage, au besoin, un écoulement dans des descentes perreyées établies, de distance en distance, dans le talus et débouchant dans le fossé de pied de la tranchée (*fig.* 48).

Il est parfois prudent de maçonner ce fossé et même d'y faire un radier en béton si l'écoulement d'eau est considérable, afin d'éviter les infiltrations pouvant occasionner des éboulements. On a soin également de régler le terrain au sommet de la tranchée avec une légère pente du côté du fossé, de façon à éviter que les eaux se répandent sur les talus et les dégradent.

Pour préserver les talus du contact de l'air et des dégra-

dations superficielles, il faut, selon les circonstances, les recouvrir de semis, gazons, plantations, de perrés à pierres sèches ou en maçonnerie à mortier ou même de clayonnages.

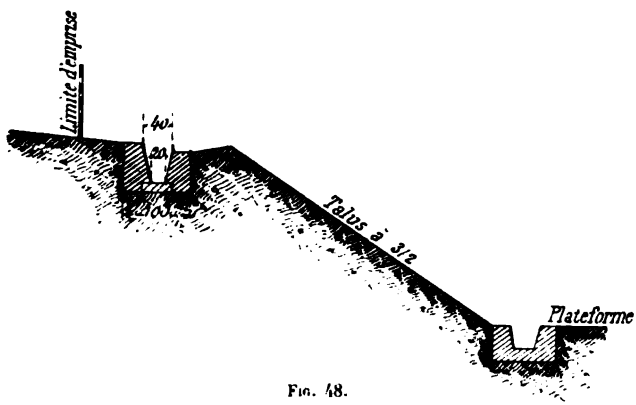


Fig. 48.

Quand on veut faire surtout des semis et des gazonnements, il est à peu près indispensable que l'inclinaison des talus soit d'au moins 6/4, ces travaux ne réussissant pas toujours sur des talus à 45°.

Semis. — Si on fait des semis sur des terres argileuses, aussi bien en déblai qu'en remblai, il est nécessaire de recouvrir la surface du talus d'une couche de terre végétale d'au moins $0^m,15$ à $0^m,20$ d'épaisseur. A cet effet les talus étant réglés suivant la ligne pointillée (*fig.* 49) ci-après, on taille des redans espacés de 1 mètre à $1^m,50$, suivant l'inclinaison de ces talus, en enlevant une couche superficielle de $0^m,10$ à $0^m,15$, et on y applique ensuite une couche de terre végétale que l'on pilonne avec soin. On fait alors les semis en grattant au râteau la surface des talus que l'on bat ensuite légèrement au moyen d'une dame plate du poids d'environ 3 kilogrammes.

Pour faire ces semis, il faut profiter d'un temps humide, autant que possible après une pluie ; pendant la sécheresse

on serait obligé d'arroser légèrement la surface au moyen d'une pompe à main après le répandage des graines.

On emploie généralement des graines de prairies ordinaires mélangées de trèfle rouge, de sainfoin et surtout de luzerne

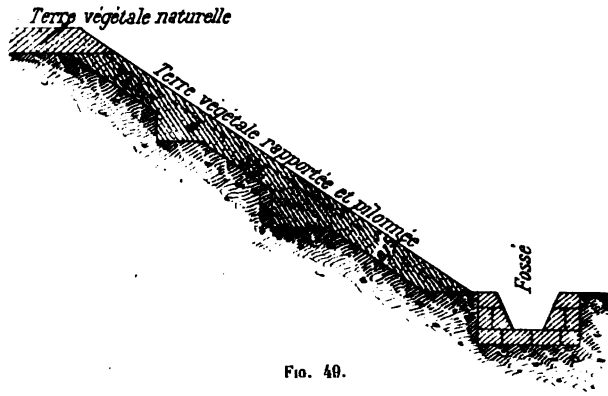


FIG. 49.

et de chiendent dont les racines pivotantes atteignent de grandes profondeurs et constituent un rapide et puissant moyen de consolidation. Le prix de revient ne s'élève pas à plus de 0 fr. 10 par mètre carré, et peut s'établir ainsi qu'il suit pour 100 mètres carrés :

Savoir :

	fr.
Une journée de manœuvre taluteur.....	4,50
A ajouter pour faux frais et bénéfices, 15 0/0.	0,67
Fourniture de graines mélangées.....	0,55
Main-d'œuvre (1/2 journée).....	2,25
Faux frais et bénéfices, 15 0/0.....	0,33
Pour 100 mètres carrés.....	8,30

Soit par mètre superficiel : 0 fr. 083.

On compte généralement de 30 à 50 kilogrammes de graines pour ensemencer un hectare de talus ; cela dépend, du reste, aussi de la nature du sol et des graines que l'on emploie.

Gazonnements. — Les gazonnements donnent aussi de bons résultats, mais surtout dans les tranchées. Ils se font de deux façons : à plat, comme placage, ou en boutisse, c'est-à-dire par assises, avec des mottes de gazons ayant au moins de 25 à 30 centimètres de longueur, 15 à 20 de largeur et 10 à 12 d'épaisseur, choisis autant que possible dans des endroits humides, très herbus et bien garnis de racines vives. Pour l'enlèvement des gazons on profite, quand on le peut, des prairies existant dans les emprises ou dans les excédents, de façon à diminuer les indemnités à payer de ce chef aux propriétaires.

On se sert pour les découper d'un couteau spécial à manche, muni d'une corde (*fig.* 50) ; un ouvrier tenant le

FIG. 50.

manche dirige et maintient le couteau à une certaine profondeur, tandis qu'un autre ouvrier tire sur la corde de manière à déterminer des bandes régulières comme le ferait le coutre d'une charrue.

L'enlèvement se fait ensuite de la même façon avec une bêche recourbée (*fig.* 51) et également munie d'une corde ; l'ouvrier qui tient le manche n'a qu'à le maintenir suivant une certaine inclinaison pour avoir des mottes de gazon d'une épaisseur voulue. Ces mottes sont mises en dépôt et conser-

vées en tas, l'herbe en dessous, et arrosées si cela est néces-

Fig. 51.

saire en temps de sécheresse. Cet enlèvement ne doit pas être fait trop longtemps avant l'emploi, car les gazons se détériorent vite en dépôt, malgré les précautions prises et reprennent plus difficilement après leur mise en place dans ces conditions.

Gazonnements à plat. — Pour les gazonnements à plat, ou placage, on commence par enlever sur la face des talus une

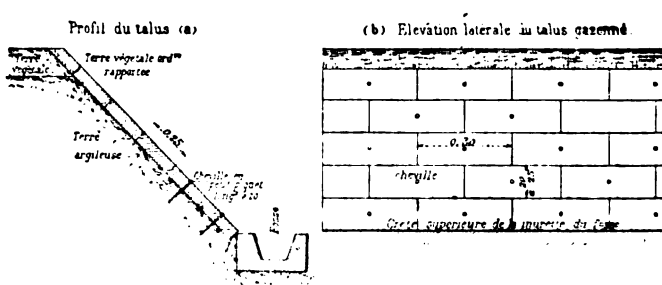


Fig. 52.

couche superficielle de 0m,05 à 0m,10 d'épaisseur, en se guidant sur un cordeau ou un petit gabarit de liteaux placé de

distance en distance. On arrose la surface ainsi mise à nu et, commençant par la partie inférieure (*fig.* 52, *b*), on pose les gazons à plat contre le talus, l'herbe en dehors, par bandes horizontales superposées, à joints se découpant d'une demi-longueur. On introduit à la main un peu de terre végétale sous la motte de gazon pour faciliter la prise des racines dans le sol plus ou moins compact du talus. Chaque gazon est fixé, en outre, par une petite cheville en saule vert de $0^m,015$ à $0^m,02$ de diamètre et de $0^m,20$ de longueur, enfoncée au maillet (*fig.* 52, *a* et *b*). Il s'en développe parfois une végétation formant broussaille qui donne de la solidité à l'ensemble de cette enveloppe. Les gazons sont battus légèrement au moyen d'une dame plate de 3 à 5 kilogrammes, de manière à obtenir une surface parfaitement régulière que l'on arrose ensuite fortement après l'exécution.

Le prix de ce gazonnement est ordinairement de 0 fr. 55 à 0 fr. 60 par mètre carré et peut s'établir ainsi :

	fr.
Enlèvement des gazons, recoupe, $0^h,50$ de manœuvre à 0 fr. 275	0,137
Charge et transport (10 mètres carrés par mètre cube).	0,040
Pose, dressement des lits, battage au maillet, $0^h,50$ à 0 fr. 275	0,138
Fourniture de chevilles de $0^m,20$ de longueur moyenne.	0,075
	0,390
Faux frais et bénéfices, 0 fr. 15	0,050
Ensemble	0,440
Indemnité éventuelle au propriétaire (16 fr. l'are environ)	0,160
Prix du mètre superficiel	0,600

Gazonnements par assises. — Pour les gazonnements par assises, on enlève sur la surface du talus une couche de $0^m,15$ à $0^m,20$ d'épaisseur en se repérant soit sur un cordeau, soit sur un gabarit formé de liteaux placé suivant l'inclinaison à adopter (*ab* du profil ci-dessous) (*fig.* 53) et on arrose

la surface comme précédemment. Les gazons sont posés à peu près horizontalement les uns à côté des autres, l'herbe en dessous par assises superposées et à joints se découpant, comme à l'élévation ci-dessous (*fig.* 53, *b*).

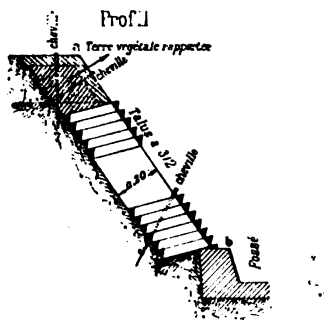


Fig. 53, *a*.

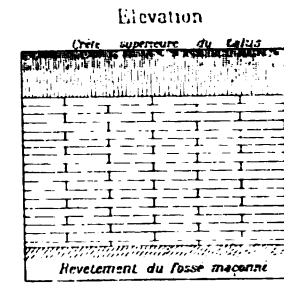


Fig. 53, *b*.

La partie correspondant aux prismes noirs contre le talus sera garnie de terre végétale; les gazons seront battus et parfaitement assujettis en tous sens au moyen d'un maillet en bois, et la partie en saillie sur le parement du talus *ab* sera découpée soigneusement au louchet ou au couteau à gazon. On enfoncera ensuite, normalement au talus ou même un peu plus inclinés, si l'on veut, de petits piquets ou chevilles, de 30 à 40 centimètres de longueur, prenant ainsi plusieurs mottes de gazons et les fixant au talus. La terre végétale rapportée au sommet peut être revêtue de mottes de gazon mises à plat, l'herbe en dehors, et fixées également par de petits piquets de 40 centimètres de longueur, pour en augmenter la solidité. Ces gazonnements reviennent en moyenne à 1 fr. 55 le mètre carré. La surface est ensuite battue avec une dame plate et arrosée fortement après l'exécution.

Ce prix peut s'établir ainsi qu'il suit (en observant toutefois que, pour 1 mètre carré de gazons par assises, il en faut environ 3 fois autant que pour un mètre carré posés à plat) :

	fr.
Enlèvement de gazons (3 fois comme ci-dessus).....	0,415
Transport — —	0,120
Pose des gazons par assises, retaille, battage, 1 heure à 0 fr. 275.....	0,275
Chevilles de 0m,40 de longueur moyenne.....	0,120
Ensemble.....	0,930
Faux frais et bénéfices.....	0.139
	1,069
Indemnité éventuelle au propriétaire (3 fois comme ci-dessus).....	0,480
Prix du mètre superficiel.....	1,549

Plantations des tranchées. — Lorsque les dégradations des talus ne présentent pas un caractère inquiétant au point de

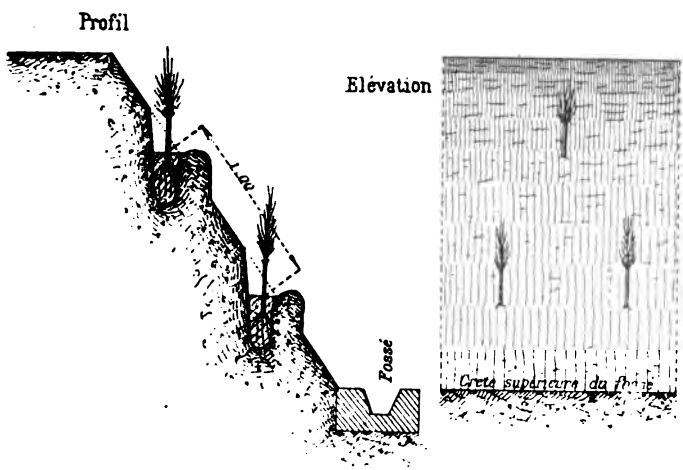


Fig. 54.

vue de la solidité, on peut y faire des plantations; mais l'effet en est plus lent et ne se produit guère qu'au bout de plusieurs années Aussi on emploie ce procédé de préférence pour les

talus de remblai où les terres remuées et mélangées par le déchargement développent une végétation plus rapide.

Mais les plantations ont dans les tranchées un inconvénient qui les fait quelquefois abandonner. A la chute des feuilles, en automne et dans les temps de verglas, les feuilles sont poussées par le vent sur les rails et font patiner les locomotives.

Les plantations se font, en général, au printemps dans les terres compactes ou retenant facilement l'eau, et en automne dans les terres ordinaires. On emploie, de préférence au semis, des plants d'arbustes ayant de $0^m,005$ à $0^m,010$ de diamètre au collet.

On pratique dans le plan du talus, par lignes espacées de $0^m,60$ à 1 mètre, des trous à la bêche de $0^m,50$ de largeur au carré et de même profondeur, distants les uns des autres, dans une même ligne, de $0^m,60$ à 1 mètre également, en retroussant les terres en forme de bourrelet à l'aval du trou (*fig.* 54). On met ensuite l'arbuste en place en le maintenant d'une main, et de l'autre on entoure les racines, pour en faciliter la reprise, d'une couche de terre végétale que l'on pilonne avec soin et que l'on arrose ensuite. Le trou est comblé quelque temps après quand les terres sont un peu tassées; le bourrelet retient ainsi les eaux qui, au lieu de se répandre sur les talus, servent à l'arrosage des plantations.

Les essences sont choisies selon les localités et la nature des terrains auxquels elles sont destinées. Pour les terres argileuses sèches ou rocailleuses, on emploie généralement : l'acacia qui du reste réussit partout, le pin sylvestre, le bouleau, l'érable sycomore, le frêne, l'épine-vinette; pour les terrains humides et marécageux : les saules, trembles, aunes, osiers (différentes variétés), peupliers, ormes donnent d'excellents résultats.

Plantations des remblais. — Pour les plantations des talus de remblai, au lieu de faire des trous à la bêche, on se sert le plus souvent d'un avant-pieu en bois ferré, ou même en fer, d'environ $0^m,06$ de diamètre (*fig.* 55). Les trous sont faits d'après les mêmes dispositions que ci-dessus, par l'enfoncement de ce pieu, les terres s'y prêtant d'ailleurs mieux que celles des talus des tranchées. Le plant de l'arbuste est

introduit dans le trou ainsi préparé, et on entoure les racines de terre végétale que l'on pilonne soigneusement, jusqu'au niveau du sol naturel, en laissant même autour de la tige un petit massif extérieur arrondi pour tenir compte du tassement ultérieur. Chaque pied est arrosé avant que le trou soit comblé.

Dans les terrains humides ou marécageux, dans les pieds

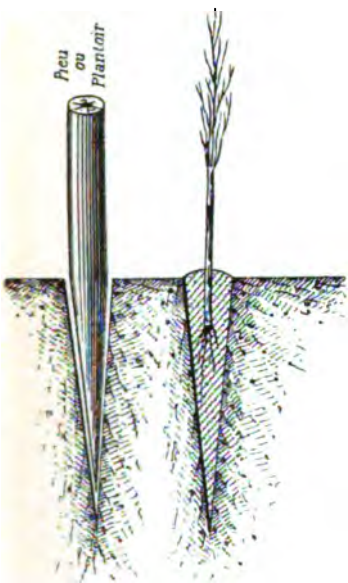


Fig. 55.

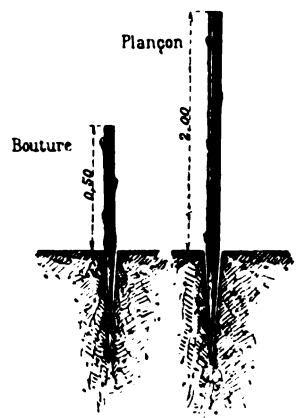


Fig. 56.

de talus de remblais, ou pour garnir les talus de chambres d'emprunt, les plantations se font souvent avec de simples tiges de saules, aunes, osiers, trembles, bouleaux ou de peupliers, dépourvues de racines et appelées, selon leurs dimensions, *boutures* ou *plançons* (*fig.* 56). Si l'on veut obtenir des broussailles, on prend des boutures de 0m,60 à 1 mètre de longueur et de 1 à 3 centimètres de diamètre. Si l'on veut obtenir des arbres à tige ordinaire, on prend alors des plançons :

ce sont des branches de deux ou trois ans, droites et vigoureuses, ayant 2 à 3 mètres de longueur et de 3 à 5 centimètres de diamètre. Les unes et les autres sont taillées en biseau à une extrémité que l'on enfonce de 0m,30 à 0m,50 dans un trou préparé au plantoir ou à l'avant-pieu sans autre précaution que de tasser fortement la terre autour pour combler le trou. Il se développe bientôt à cette extrémité des racines adventives qui transforment ces boutures ou plançons en de véritables plants capables de devenir rapidement des arbres comme celui dont ils ont été primitivement détachés.

Perrés. — Quand les tranchées sont ouvertes dans des terrains friables, des éboulis de rochers en décomposition, ou que les remblais sont exécutés avec des terres ou graviers sans cohésion, se dégradant à la moindre pluie ou se laissant facilement entamer par les eaux des crues, comme cela arrive parfois dans des plaines submersibles, on emploie suivant les circonstances, pour protéger ces talus, des perrés à pierres sèches ou en maçonnerie à mortier et aussi des clayonnages.

Les perrés à sec se tiennent très bien à l'inclinaison de 45°, et même à une inclinaison de 1 de base pour 1 1/2 de hauteur ils peuvent encore parfois soutenir les terres qui sont en arrière. Mais ils ne doivent pas, dans ce cas, s'élever à plus de 1m,50 au-dessus du niveau de la plateforme. Quand ils doivent avoir une plus grande hauteur, il faut les faire à mortier.

Mur de pied de talus. — On peut, dans certains cas, profiter de cette disposition, notamment dans les tranchées, pour faire un revêtement maçonné à la partie inférieure du talus, ou quelquefois même un mur de pied qui est un véritable mur de soutènement, en maintenant jusqu'à une certaine hauteur une inclinaison plus raide (*fig.* 57). Cela permet d'adoucir le talus à sa partie supérieure qui peut être ainsi semée ou gazonnée selon les circonstances.

Ce procédé est surtout employé quand la ligne passe à proximité de lieux habités et que la crête de la tranchée, en s'approchant un peu trop près des maisons, peut faire

craindre des éboulements donnant lieu à des indemnités.

On l'emploie aussi quand le pied du talus de remblai atteint une propriété close à laquelle on ne veut pas toucher,

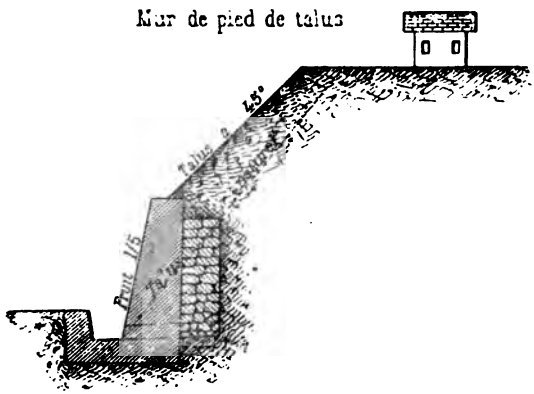


Fig. 57.

afin d'éviter une expropriation coûteuse, ou s'étend sur un chemin qu'on serait, sans cela, obligé de dévier.

Perré maçonné. — En tous cas, que l'on fasse un perré maçonné ou un mur de pied d'une certaine hauteur, si on craint l'humidité des terres, il faut avoir soin de garnir la maçonnerie, du côté du talus, d'un blocage en cailloux de $0^m,15$ à $0^m,20$ d'épaisseur formant drain pour amener les eaux dans le fossé, au moyen de barbacanes correspondant au plafond du fossé et ménagées, tous les 2 mètres au moins, dans la partie inférieure du mur ou du perré (*fig.* 58).

Généralement, dans les tranchées comportant des fossés maçonnés, quand on construit des perrés, on les établit en les appuyant sur la murette de ces fossés.

Les perrés maçonnés se font ordinairement par assises réglées, à peu près horizontales et à joints se découpant d'environ une demi-longueur dans les assises consécutives; on emploie des moellons ayant au moins $0^m,25$ à $0^m,30$ de queue,

équarris au têtu et dressés à peu près d'équerre sur leurs lits et joints.

Ces moellons sont posés perpendiculairement aux talus, à bain soufflant de mortier et pressés au marteau, de manière

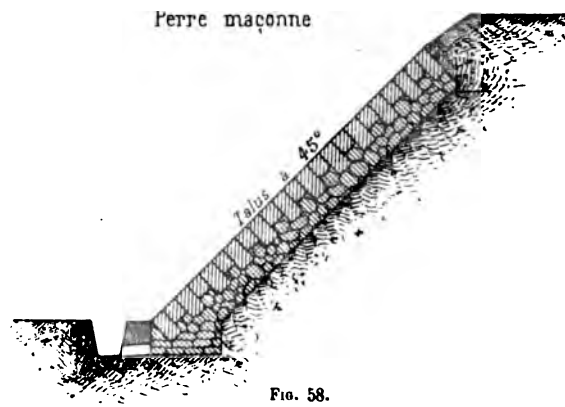


Fig. 58.

que les interstices voisins soient remplis complètement par du mortier et des cales mises à plat, dans les joints de derrière et dans le démaigrissement des moellons. Les parements sont dressés sans flaches ni saillie, au cordeau ou au gabarit, d'après le plan du talus, et les joints ne doivent pas dépasser $0^{m},01$.

Quand ces parements ne doivent pas être rejointoyés, les lits et joints sont soigneusement crépis à la truelle et à pierre vue, au fur et à mesure de l'exécution. Le couronnement est formé par des moellons choisis parmi les plus réguliers ou par des moellons posés en hérisson.

Perré à couronnement incliné. — Si la direction de ce couronnement est inclinée, comme le dessous de la dernière assise doit suivre cette direction, la pente sera rachetée par des redans terminés par un moellon un peu plus fort et placé de telle façon qu'il ne corresponde pas au joint du moellon inférieur et le découpe au contraire d'au moins 10 centimètres (*fig.* 59).

On a soin de ménager derrière le perré, surtout dans les tranchées pouvant donner de l'humidité, un blocage en cailloux, comme cela a été dit ci-dessus, pour recueillir les eaux provenant des terres et les conduire dans des barbacanes

Perré à couronnement incliné.

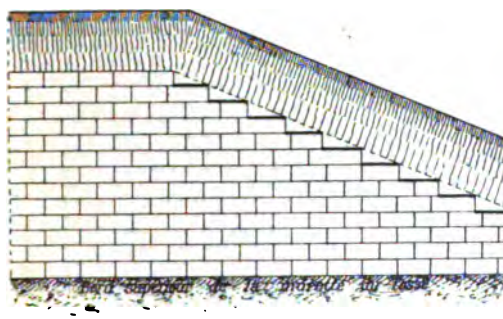


Fig. 59.

ménagées de distance en distance dans la maçonnerie du fossé.

Les perrés à pierres sèches sont faits, comme parement, avec autant de soin que les perrés à mortier; ils sont quelquefois exécutés à joints incertains et, dans ce cas, les moellons sont placés de manière à ce que leurs plus grandes dimensions soient toujours perpendiculaires aux talus ou aux faces de parement.

Les interstices entre chaque moellon sont remplis d'éclats de pierres longs et plats, enfoncés au marteau, de façon à ne laisser aucun vide excédant la largeur d'un joint. La queue des moellons est régulièrement encastrée dans le matelas de blocage ou de gravier sur lequel s'appuie le perré. Après leur exécution, on répand sur la surface des perrés à sec une couche de terre légère ou sable fin qui, en s'introduisant dans les joints, en garnira le vide.

Perré en arceaux. — *Perré en chevrons.* — Les perrés peuvent prendre diverses formes, selon les circonstances. Si, par

exemple, les matériaux ne sont pas suffisants pour faire un revêtement général du talus sur toute sa longueur, soit en déblai, soit en remblai, on donne alors aux perrés la forme de voûtes de dimensions et de formes diverses, ou même encore la forme de chevrons (*fig.* 60 et 60 *bis*). On donne aux

Perré en arceaux

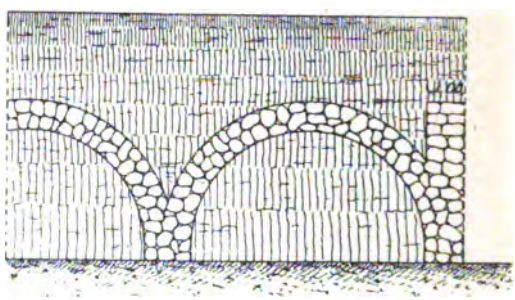


Fig. 60.

arceaux ou aux branches des chevrons une largeur d'au moins 1 mètre et une épaisseur de 0m,35 à 0m,50, soit environ deux

Perré en chevrons

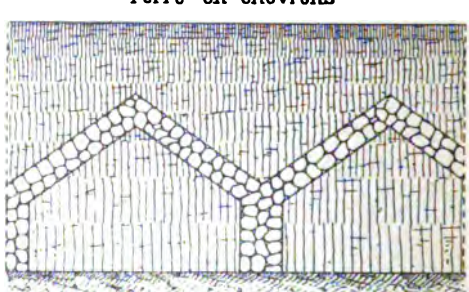


Fig. 60 *bis*.

assises de moellons ; de distance en distance on place un moellon formant boutisse ou parpaing, afin de donner à

l'ensemble un peu plus de liaison. On réserve pour les parements les moellons les plus réguliers.

La partie des talus comprise entre les arceaux ou les chevrons, de même que la partie supérieure de ces talus, peut être semée ou gazonnée. Il n'est jamais prudent d'y faire des plantations, les racines pouvant plus tard pousser au renversement des maçonneries ou, tout au moins, en déformer les parements.

L'État, qui a construit le chemin de fer de Chagny à Auxonne, dans les plaines submersibles de la Saône et de la Dheune, a fait établir des perrés et des clayonnages pour protéger contre les corrosions des eaux, certaines parties des

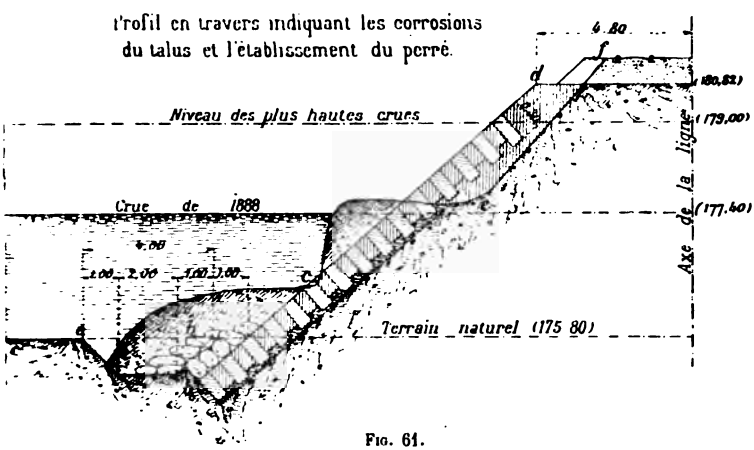


FIG. 61.

remblais atteignant en plusieurs endroits une hauteur de 6 mètres au-dessus du terrain naturel.

Un fossé de 3 à 4 mètres de largeur en gueule a été ménagé de chaque côté au pied du talus pour l'écoulement des eaux provenant des terrains avoisinants.

La ligne, dont la direction générale de l'est à l'ouest est à peu près normale au courant de la Saône, forme ainsi une sorte de barrage en temps de crues. On comprend que, dans ces conditions, les remblais soient exposés à l'action corro-

sive des eaux en temps d'inondation. Le talus d'amont (côté gauche) surtout, ayant à résister non seulement à l'action directe du courant, mais encore à celle des vagues poussées par le vent du nord, a été, en plusieurs points, plus particulièrement attaqué, ainsi que le ballast, comme l'indique, du reste, le profil ci-dessus *acef* (*fig.* 61).

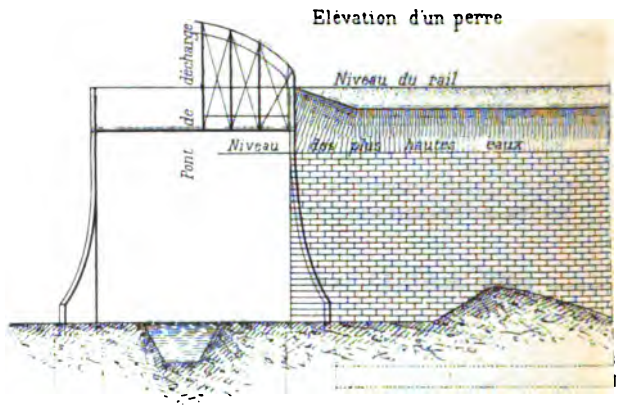


Fig. 61 *bis*.

C'est dans ces conditions qu'on a construit un perré maçonné à pierres sèches de 0m,30 d'épaisseur suivant *b'd*, dont la fondation a été descendue environ à 20 centimètres en contre-bas du fond du fossé. Le couronnement a été arasé à peu près au niveau des plus hautes crues connues sur du remblai rapporté et pilonné *def*. Le pied a été ensuite protégé par un massif d'enrochements remplaçant ainsi le revers *b* du fossé enlevé pour établir la fondation du perré.

La figure 61 *bis* montre l'élévation de ce perré aux abords d'un pont de décharge.

Ces travaux ont produit les meilleurs résultats et ont parfaitement résisté aux crues qui sont survenues ultérieurement.

Ils ont été exécutés sur une longueur de..... 3.100 mèt.
Représentant une surface d'environ..... 20.700m2

Ont nécessité un cube de maçonnerie de.....	6.200^{m3}	
Et donné lieu à une dépense totale de.....	87.400 fr.	»
Y compris semis des surfaces de talus rapportés environ.....	1.200	»
Ce qui fait ressortir un prix moyen par mètre cube de.....	14	10
Et par mètre carré de surface perreyée.....	4	20

Clayonnages. — Le talus droit de la ligne de Chagny à Auxonne (côté aval), quoique se trouvant à l'abri des vents du nord, a éprouvé, lors des inondations de 1888, de sérieuses dégradations provenant du clapotis des vagues, par suite du séjour prolongé des eaux.

On y a fait exécuter, en même temps que les perrés ci-dessus, des clayonnages disposés comme l'indique le croquis ci-après (*fig.* 62).

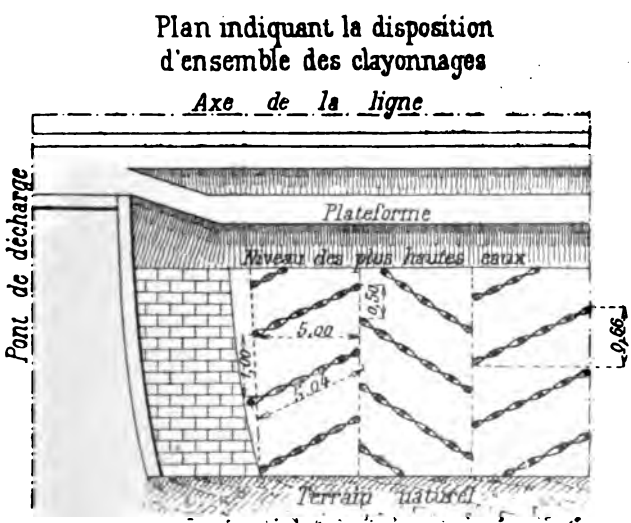


Fig. 62.

Ces clayonnages sont placés en écharpe sur le talus, par zones de 5 mètres de longueur chacune, mesurée parallè-

lement à l'axe de la ligne. Leur direction est telle que les extrémités de chaque clayonnage s'appuient sur le talus en deux points distants verticalement de 0m,66.

Les clayonnages d'une même zone sont parallèles; leur espacement horizontal mesuré perpendiculairement à l'axe de la ligne est de 1 mètre.

Dans deux zones voisines, les clayonnages sont inclinés en sens inverse. Les extrémités des clayonnages, sur la ligne

Détail d'un clayonnage. *Elévation*

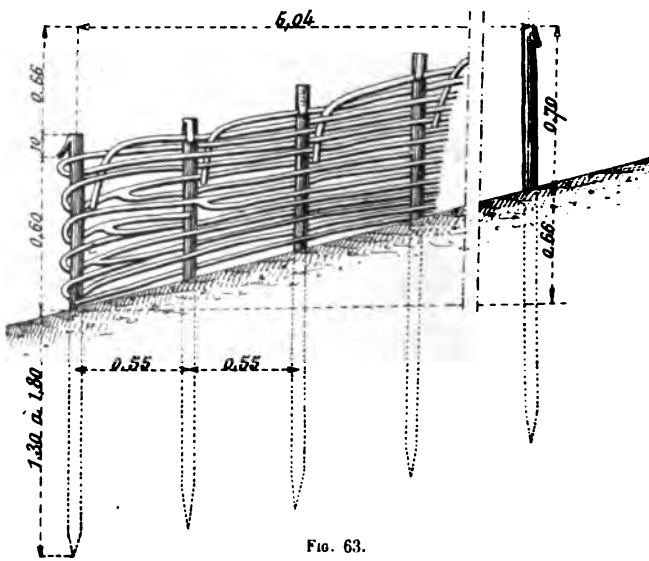


Fig. 63.

séparative de deux zones, sont disposées de manière que celle d'un clayonnage d'une zone corresponde à peu près au milieu de l'intervalle compris entre les extrémités de deux clayonnages voisins de la zone adjacente.

Les clayonnages inférieurs partent du pied du talus, et les supérieurs s'arrêtent à une ligne horizontale tracée sur le talus à peu près au niveau des plus hautes eaux.

Chaque clayonnage (*fig.* 63) est composé de piquets dis-

tants horizontalement de 0m,55 d'axe en axe, reliés par des clayons sur 0m,60 de hauteur, de façon qu'un clayonnage complet, sur une même zone, d'une extrémité à l'autre, comporte environ 10 piquets.

Les piquets sont en chêne, charme, orme, frêne, acacia ou bouleau, de 2 mètres à 2m,50 de longueur ; ils sont battus à la masse ou au maillet de façon à leur faire prendre une fiche d'environ 1m,30 à 1m,80 et à ne présenter ainsi qu'une saillie uniforme de 0m,70 sur le plan du talus.

Les piquets sont ronds, de 0m,05 à 0m,075 de diamètre moyen, ou demi-ronds, ou bien triangulaires, de 0m,18 à 0m,27 de pourtour moyen (*fig.* 64). La partie enterrée de ces piquets

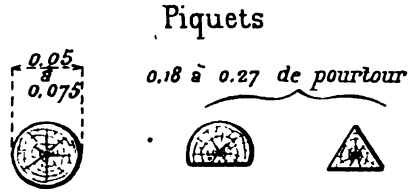


Fig. 64.

est passée au feu de façon que la surface du bois soit légèrement carbonisée.

Les piquets sont entrelacés par des verges, ou clayons en chêne, bouleau, aune, saule ou osier ayant de 3 à 5 mètres de longueur et un diamètre de 2 à 4 centimètres à leur gros bout. Deux clayons superposés doivent toujours passer de part et d'autre du même piquet ; chaque clayonnage comprend ainsi au moins 10 brins principaux sur la hauteur de 0m,60.

Les verges ou clayons doivent être droites, flexibles et garnies de leurs menues branches. Les clayons supérieurs sont maintenus, à défaut de crochets naturels par des chevilles en chêne traversant la tête des piquets, ou par de fortes pointes.

Le battage des piquets est complété après l'exécution des clayonnages, de façon à serrer un peu plus fortement les clayons les uns contre les autres.

Ce travail, exécuté comme il a été dit ci-dessus, a été payé

à raison de 0 fr. 90 le mètre courant, la longueur de chaque clayonnage étant mesurée horizontalement entre les axes des piquets extrêmes.

Ces clayonnages ont produit un assez bon résultat ; mais, au point de vue de la parfaite solidité d'un talus de remblai attaqué par les eaux, il est préférable d'avoir recours aux perrés, malgré la différence relativement élevée du prix de revient.

DÉGRADATIONS PROVENANT DE L'INTÉRIEUR DES TALUS

Quand les causes de dégradations des talus viennent de l'intérieur du massif le mal est beaucoup plus grave, car alors des masses énormes de terre se détachent des talus, tombent sur la voie en entraînant à leur suite de nouvelles masses et constituent ainsi de véritables éboulements qu'il s'agit de relever quand on n'a pas su les prévenir.

Ces causes proviennent toujours[1] de la présence de l'eau et presque toujours de celle de l'argile ou glaise, dont la propriété la plus caractéristique est l'imperméabilité.

L'argile ne laisse pas filtrer l'eau à travers ses molécules mais, néanmoins, s'en laisse imbiber à la longue et la retient même avec obstination. A l'état de sécheresse l'argile atteint une très grande dureté et présente une grande cohésion permettant de résister à un effort considérable ; mais, mise au contact de l'eau, elle s'en imbibe, peu à peu, au point de devenir molle et fluente et de ne plus se maintenir elle-même.

Les éboulements se produisent donc à peu près toujours par suite de l'existence de bancs d'argile ou de terre plus ou moins argileuse entre des bancs perméables ou au-dessous de ceux-ci. Le banc argileux retient les eaux qui lui arrivent par infiltration à travers les couches perméables supérieures ; il s'en imprègne d'autant plus facilement que la couche de glaise mise à nu sur une tranche, par exemple par l'ouver-

[1] M. Couche, *Traité sur la voie et le matériel roulant des chemins de fer.*

ture d'une tranchée, se trouve exposée à l'action des agents atmosphériques et sous leur influence se rétracte, se gonfle, se gerce ou se fendille, ce qui constitue autant de petits canaux qui favorisent l'imbibition du massif. C'est alors que l'argile se ramollit, glisse et tombe, entraînant avec elle les masses avoisinantes et le terrain supérieur auquel elle servait de soutien.

Cet effet se produit généralement après les gelées. La congélation des parements de la tranchée sur une certaine épaisseur arrête, en effet, l'écoulement des eaux à la surface, les retenant à l'intérieur du massif et les mettant ainsi en contact avec les couches argileuses qu'elles détrempent. Tant que la gelée persiste, elle soutient le massif ; mais, au moment du dégel, l'appui venant à manquer, il survient alors un éboulement.

Méthode de M. de Sazilly. — Parmi les ingénieurs qui se sont le plus particulièrement occupés de cette question, nous citerons M. de Sazilly qui, dans un intéressant article publié dans les *Annales des Ponts et Chaussées* de 1851, a fait l'exposé d'une méthode qui porte son nom, et dont les applications, variées, du reste suivant les cas, ont toujours donné les meilleurs résultats.

Son système consiste à :

1° Protéger la tranche argileuse de la surface des talus contre l'action destructive des agents atmosphériques, notamment contre celle de l'eau, de la gelée et de la sécheresse ;

2° Faciliter l'écoulement permanent des eaux d'infiltration provenant des couches supérieures, ou des bancs de suintement, de façon à empêcher l'imbibition du banc argileux.

On préserve les talus des influences extérieures au moyen d'un revêtement en terre végétale pilonnée, d'au moins 25 à 30 centimètres d'épaisseur, relié par des redans au massif inférieur (*fig.* 65).

Pour assurer l'écoulement des eaux d'infiltration du massif supérieur, on établit à la limite séparative de la couche argileuse et du terrain perméable, limite indiquée presque toujours sur le talus par un banc de suintement, une rigole

formée d'une enveloppe de maçonnerie de briques, ou d'un simple radier en béton rempli de pierres formant drain, et appelé *pierrée*, que l'on recouvre de pierres placées à plat ou de gazons pour empêcher la terre rapportée de pénétrer dans les pierres et obstruer le fonctionnement de ce drain.

Le fond de cette rigole est dressé légèrement en cuvette, suivant autant que possible les inflexions du banc de suintement, en se tenant à peu près à 25 centimètres en contre-bas de celui-ci, d'après une pente de 3 à 4 centi-

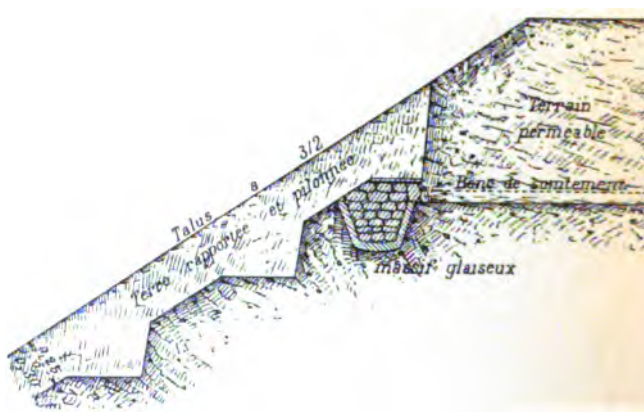


Fig. 65.

mètres par mètre pour aboutir, soit par une ouverture pratiquée dans le talus, tous les 20 mètres au moins, dans une descente maçonnée conduisant les eaux dans le fossé, soit dans un collecteur formé d'un drain semblable au précédent ou d'un tuyau en poterie, entouré d'un manchon de pierrailles d'au moins 20 centimètres d'épaisseur, amenant les eaux dans des barbacanes ménagées dans la maçonnerie du fossé (*fig.* 66).

On peut parfois rencontrer plusieurs bancs de suintement : on établit alors en face de chacun d'eux une pierrée que l'on fait déboucher comme précédemment dans la descente ou que l'on amène dans le collecteur.

Les applications du procédé de Sazilly sont aussi variées que les cas qui peuvent se présenter : les indiquer toutes est impossible ; il suffit de se bien pénétrer du principe qui consiste à maintenir et surtout à faciliter le fonctionnement du

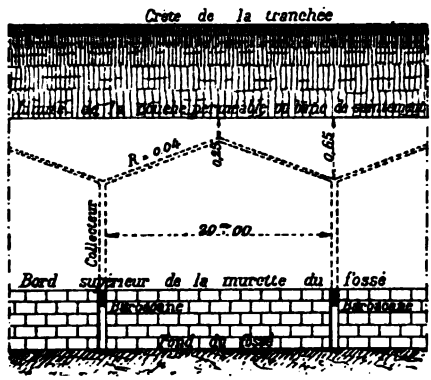


Fig. 66.

banc de suintement ou en établir un artificiel quand celui-ci est obstrué ou mal déterminé.

En plusieurs circonstances nous avons eu recours à une variante de ce procédé qui nous a toujours réussi.

Eboulement provenant de l'obstruction de la couche filtrante. — Le profil ci-après (*fig.* 67) représente un éboulement survenu dans le talus AB d'une tranchée, par suite de l'obstruction du banc de suintement formé par la couche de sablon situé à la partie inférieure. La surface du talus située en face de cette couche en A s'est dégradée et désagrégée peu à peu sous l'influence des agents atmosphériques et a été remplacée par de la terre plus ou moins argileuse qui, en durcissant, a arrêté le pouvoir filtrant de cette couche. La surface des couches supérieures s'est crevassée pendant la sécheresse ; les gerçures ont facilité la pénétration des eaux de pluie dans les couches inférieures qui, se ramollissant peu à peu et perdant leur cohésion, ont fini par se détacher du

massif suivant le plan de glissement *g*, entraînant dans leur chute les masses voisines.

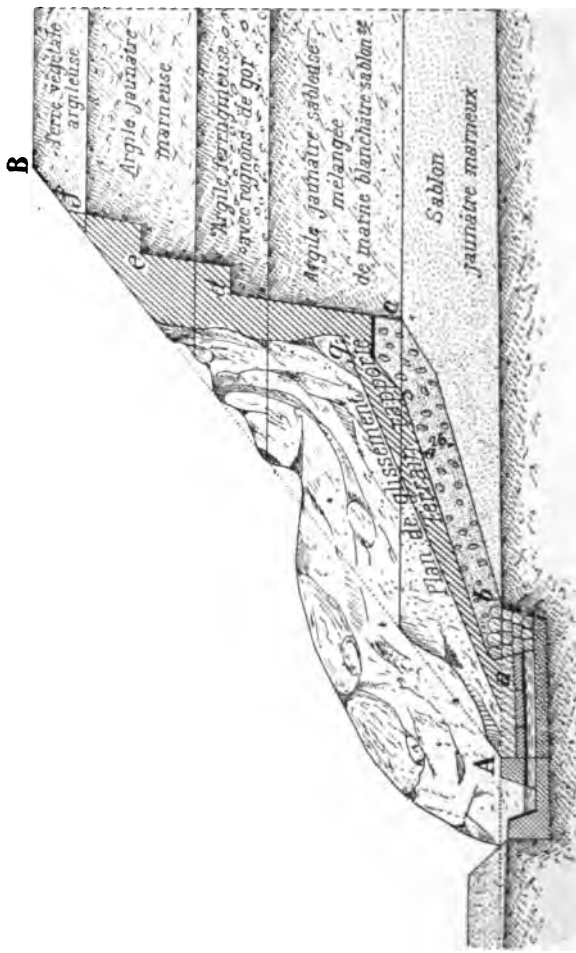


Fig. 67.

On a fait enlever alors toutes les terres en mouvement et même un peu du terrain solide suivant *abcdef*, en réglant à

environ 10 centimètres par mètre la pente générale de la partie *bc* ; on a ouvert ensuite à 1m,50 ou 2 mètres en arrière du fossé, sur toute la longueur de l'éboulement, une petite tranchée latérale de 0m,40 de largeur en plafond, 0m,70 en gueule et 0m,50 de profondeur que l'on a remplie de pierres arrangées à la main sur un radier formé d'une couche de béton ou de pierres posées à plat (*fig.* 68).

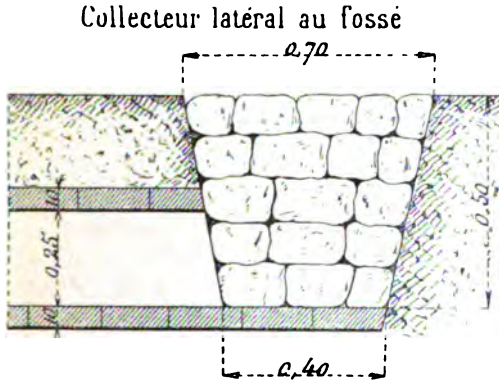


Fig. 68.

On a donné à cette rigole une pente suffisante pour amener les eaux dans le fossé au moyen de barbacanes ménagées à cet effet tous les 3 mètres environ.

On a posé ensuite en *abc* une couche de gravier pur de 0m,25 d'épaisseur sur laquelle on a rapporté de la terre végétale pilonnée avec soin par couche de 20 à 25 centimètres et que l'on a montée ensuite jusqu'en *f* au moyen des redans *d* et *e* destinés à faciliter la liaison avec le massif intérieur.

Mais il arrive parfois que la séparation des bancs perméables et des bancs argileux n'est pas parfaitement établie, c'est-à-dire que le banc de suintement n'est pas nettement déterminé ; parfois aussi ce dernier ne présente pas toujours une pente favorable à l'écoulement qu'on lui a préparé à la surface, et, d'autre part, la couche argileuse peut s'élever

jusqu'au sommet de la tranchée. Dans ces cas l'application du procédé de Sazilly devient très difficile, sinon impossible.

Drainage. — On a recours alors à un drainage spécial exécuté au moyen de pierres sèches ou de tuyaux ou même avec les deux procédés réunis.

Ce drainage coupe et traverse les différents bancs de suintement et les assèche, quelle que soit leur situation ou leur direction. Les drains sont amenés dans un collecteur placé en contre-bas du fossé ou de la plateforme et débouchant lui-même en dehors de la tranchée.

Ces drainages sont d'autant plus efficaces qu'ils sont plus nombreux et établis plus profondément dans le sens perpendiculaire au plan du talus.

Différents systèmes de consolidations. — *Système Ledru.* — De nombreuses applications du drainage ont été faites sur la ligne de Mulhouse, par M. Ledru, alors directeur de la construction du chemin de fer de l'Est. Son système consistait à établir perpendiculairement aux talus, soit d'après la

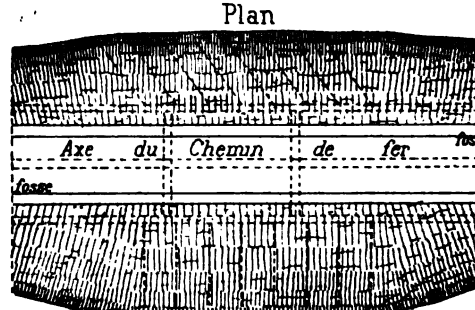


FIG. 69.

ligne de plus grande pente, soit d'après des obliques à 45° sur la normale à ces talus, des saignées espacées de 2 à 3 mètres les unes des autres (*fig.* 69).

Ces saignées avaient environ 1 mètre de profondeur; on

plaçait dans le fond un tuyau de drainage de 3 centimètres de diamètre entouré de pierres posées à la main, sur une épaisseur d'au moins 40 centimètres, que l'on recouvrait de gazon, d'une couche de mousse ou même de paille et ensuite de terre végétale (*fig.* 70).

On établissait de cette façon, à 1 mètre de profondeur, un plan de drainage dont les branches étaient réunies dans un collecteur, formé de tuyaux de 0m,05 de diamètre, placé en dessous de l'arête inférieure de la tranchée, en arrière du fossé (*fig.* 71); ces collecteurs étaient eux-mêmes reliés par des drains transversaux à un collecteur général, formé de tuyaux de 0m,08 de diamètre, placé dans la direction de l'axe de la ligne et s'écoulant en dehors de la tranchée.

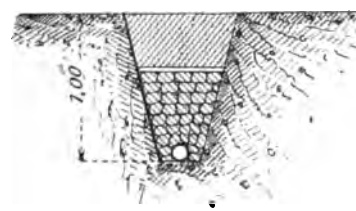


Fig. 70.

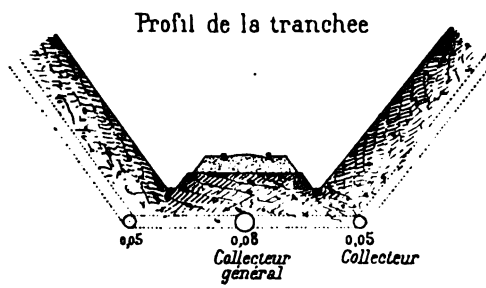


Fig. 71.

Ce système, dont les applications ont eu un plein succès, a l'avantage d'assainir la plateforme en même temps que les talus.

Il est assez difficile d'établir d'avance un prix de revient exact de ce genre de travail, à cause de l'aléa qu'il com-

porte, pour fouille et remaniements de terre, et c'est seulement en exécution qu'on peut fixer le nombre et même la disposition des pierrées ou des tuyaux de drainage, suivant la nature des couches rencontrées. Néanmoins, on estime généralement que le procédé de Sazilly coûte de 1 fr. 50 à 2 fr. 50 le mètre carré de talus assaini.

Le drainage avec tuyaux coûte ordinairement un peu moins et peut s'obtenir pour 1 franc à 1 fr. 50; l'emploi exclusif de la pierre coûte toujours plus cher et fait ressortir le prix entre 1 fr. 75 et 3 francs.

Consolidation des remblais. — En principe, dans l'exécution des remblais on ne doit jamais employer que des terres de bonne qualité; il en résulte qu'on ne devrait jamais avoir à consolider un remblai. En effet, si dans une tranchée il faut accepter le terrain tel qu'il existe avec les difficultés d'exécution que comporte sa nature, rien ne force à employer dans les remblais de la plateforme des terres de mauvaise qualité. Le motif qui peut porter à le faire a pour but l'économie ; mais les travaux qui en sont, la plupart du temps, la conséquence et les dépenses qu'ils occasionnent rendent illusoire cette économie ou font voir qu'elle est mal comprise.

Les embarras auxquels peuvent donner lieu les éboulements de remblais sont, en effet, plus considérables et plus sérieux que ceux résultant des éboulements de tranchées, surtout s'ils se produisent après la mise en exploitation de la ligne.

La consolidation des talus d'une tranchée, l'enlèvement d'un éboulement peuvent encore se faire, dans la plupart des cas, sans nuire à la marche régulière des trains.

Au contraire, la consolidation des remblais accompagne presque toujours une déformation ou un affaissement de la plateforme, qui amène forcément une suspension dans la circulation.

On ne peut donc apporter trop d'attention dans l'exécution des remblais de façon à n'admettre que des terres de bonne qualité produites par les tranchées; les mauvaises doivent en être écartées et mises en dépôt. Quoi qu'il en soit, on peut encore, malgré ces précautions, avoir des remblais à conso-

lider ; on le fait alors en s'inspirant des principes que nous venons de développer pour la consolidation des tranchées.

Procédé de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. — Parmi les divers procédés employés pour l'assainissement et la consolidation des talus argileux, voici celui qui est usité généralement par la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, et qui a toujours réussi sur les différentes lignes de son réseau. Il a fait l'objet d'une instruction circulaire du 27 juin 1874 que nous reproduisons ci-après.

« Ce procédé consiste essentiellement dans l'établissement de pierrées ou murs à pierres sèches ayant une direction normale à l'axe du chemin de fer, afin d'aller chercher les eaux d'infiltration (cause principale de tous les mouvements qui se manifestent dans les terrains argileux) et de faciliter leur écoulement au dehors par la voie la plus facile et la plus directe. Ces pierrées ou murs à pierres sèches constituent de véritables drains et jouent, en même temps, le rôle de contreforts séparant en plusieurs parties les masses de terre en mouvement, rompant la solidarité qui existait entre elles et les asséchant (*fig.* 72 et 73).

« On donne d'ordinaire à ces pierrées une épaisseur de 1 mètre à 2 mètres (*fig.* 74), selon la profondeur à laquelle elles doivent descendre et la hauteur qu'elles auront. L'essentiel est que leurs fondations se trouvent toujours en contre-bas des couches glaiseuses retenant les eaux qui ont donné lieu à des glissements ou sur lesquelles d'autres glissements peuvent se produire. Il faut bien remarquer, en effet, que dans tous les terrains bouleversés, lorsqu'ils sont à flanc de coteau, on rencontre, à des profondeurs variables, une ou plusieurs couches glaiseuses qui deviennent lisses ou glissantes comme du savon, par suite des filtrations d'eau qui se sont arrêtées à leur surface et l'ont ramollie. C'est sur ces couches dont la courbure ressemble à celle de la cycloïde, que s'opèrent les glissements du terrain supérieur (*fig.* 75 et 76).

« Il suit de là qu'avant d'entreprendre la construction d'une pierrée l'ingénieur doit se rendre compte de la position qu'il convient de lui donner dans la masse éboulée ou sujette à s'ébouler et fixer son point de départ assez bas pour être

Consolidation d'une tranchée argileuse à l'aide de pierrées.

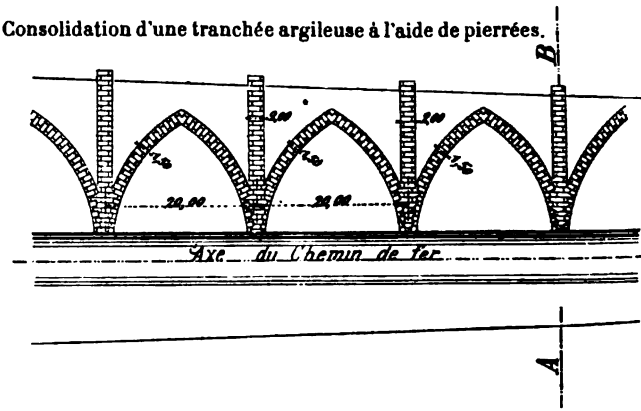


Fig. 72. — Plan.

Consolidation d'un remblai argileux à l'aide de pierrées.

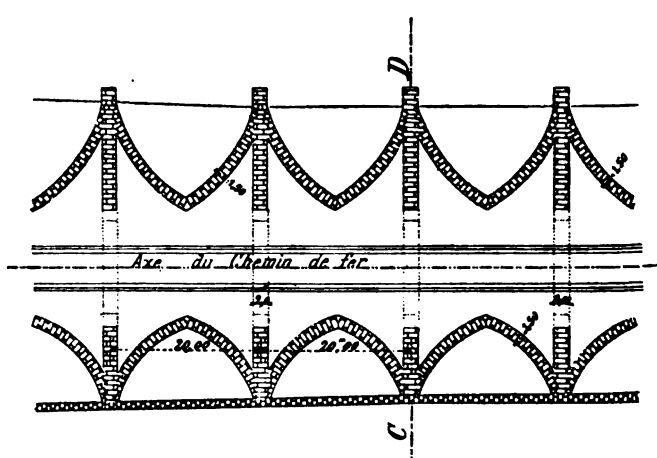


Fig. 73. — Plan.

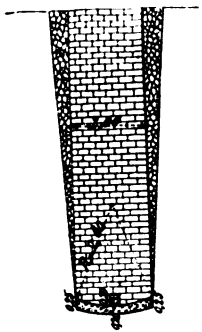


Fig. 74.
Coupe d'une pierrée.

Consolidation d'une tranchée argileuse à l'aide de pierrées.

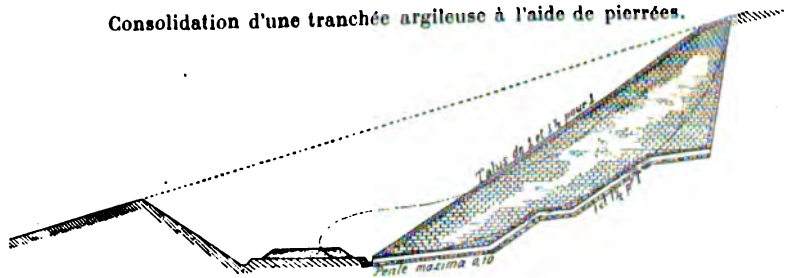


Fig. 75.
Coupe suivant AB.

Consolidation d'un remblai argileux à l'aide de pierrées.

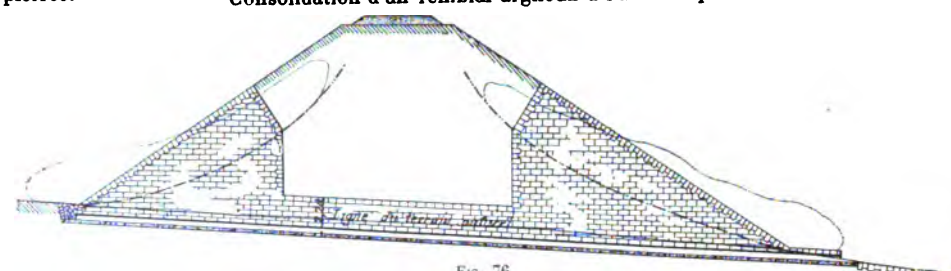


Fig. 76.
Coupe suivant CD.

certain que la fondation se trouvera partout au-dessous des surfaces de glissement existantes et de celles qui ont chance de se produire encore.

« Les pierrées sont, en général, espacées de 20 mètres en 20 mètres, afin que l'action de chacune d'elles puisse s'exercer efficacement pour assainir les terres avoisinantes. Le point de départ des fouilles à faire est subordonné, pour chaque pierrée à l'aqueduc ou au fossé par lequel pourront s'écouler les eaux soutirées de l'intérieur des terres ; mais il faut s'arranger pour que cet écoulement ait lieu le plus bas possible, afin d'être plus assuré du succès.

« Les parois de la fouille seront descendues aussi verticalement qu'on le pourra au moyen d'étais ou de boisages, dans le but d'éviter un déblai inutile et de se rapprocher ainsi de la forme même de la pierrée.

« On donne au fond de la fouille, en s'éloignant du point de départ, une pente variable qui dépend de la constitution et du ramollissement des argiles que l'on rencontre, puisque l'on doit se préoccuper, *avant tout*, d'établir cette fondation sur un terrain qui n'ait pas encore bougé et *en contre-bas* des fissures ou des couches de glissement qui se sont déjà produites.

« Quand on s'aperçoit que le sol fouillé change de nature et devient plus dur et plus résistant, on relève la fondation en établissant un ou plusieurs gradins ; puis, on reprend l'inclinaison qui semble convenir le mieux pour rester au-dessous des couches cycloïdales que nous avons définies.

« Au fur et à mesure qu'on avance dans la fouille, on nettoie le fond avec soin et on construit dessus un radier en béton de $0^m,30$ à $0^m,40$ d'épaisseur auquel on donne une forme un peu concave à sa partie supérieure. C'est dans cette espèce de cuvette que s'écoulent les eaux filtrant des différents points de la fouille. Sur ce radier dès qu'il a durci, on élève le mur à pierres sèches auquel nous avons donné le nom de pierrée ; l'on ménage à sa base et dans son axe un petit aqueduc carré de $0^m,20$, au plus, exécuté avec les pierres les plus grosses et les plus régulières. Le reste du mur se monte à la main, en ayant soin de dresser les deux parois

bien verticalement, afin que cette maçonnerie brute et à pierres sèches se soutienne bien par elle-même et remplisse son rôle de contrefort.

« Pour obtenir ce résultat il faut veiller à ce que les ouvriers ne jettent pas les pierres pêle-mêle dans la fouille et à ce qu'ils fassent un véritable emmétrage en arrangeant avec précaution les pierres à la main. Les étais et les boisages qui maintiennent les parois de la fouille s'enlèvent successivement et on remplit l'intervalle qui reste entre ces parois et le mur avec des débris de pierres ou de gravier, des scories et autres matières perméables.

« La partie supérieure du mur ou de la pierrée doit affleurer le talus ou le terrain qu'on a voulu consolider et demeurer apparente.

« Les diverses pierrées construites parallèlement les unes aux autres, dans l'étendue des terrains en mouvement, laissant entre elles des intervalles où le sol peut être fortement imprégné et ramolli par les eaux coulant des parties plus élevées, il est nécessaire de les relier au moyen d'arceaux en ogives ou en plein cintre, qui forment un arrêt pour ces eaux et leur donnent un écoulement facile jusqu'aux pierrées principales. Ces arceaux sont également des murs à pierres sèches, dont la fondation descend au-dessous des surfaces de glissement comme les pierrées avec lesquelles ils se raccordent.

« Nous n'entrerons pas dans de plus longs détails, et nous renvoyons aux croquis 72 à 76 pour expliquer comment la disposition des pierrées peut varier suivant les différents cas qui se présentent dans une tranchée ou un remblai à consolider, ou bien encore (*fig.* 77 et 78) le long d'un versant sur lequel le chemin de fer (ou la route) est établi, partie en déblai, partie en remblai.

« Nous ajouterons seulement que, pour des lignes en exploitation, ou pour des terrains bouleversés jusqu'à de grandes profondeurs, il est parfois impossible d'établir les énormes fouilles que nécessiterait la construction des pierrées, telles que nous venons de les décrire, et qu'il est alors préférable de recourir (*fig.* 79 et 80) à de petites galeries souterraines.

Talus de déblai et de remblai sur un sol en mouvement.

Fig. 77.

Plan d'une pierrée à flanc de coteau.

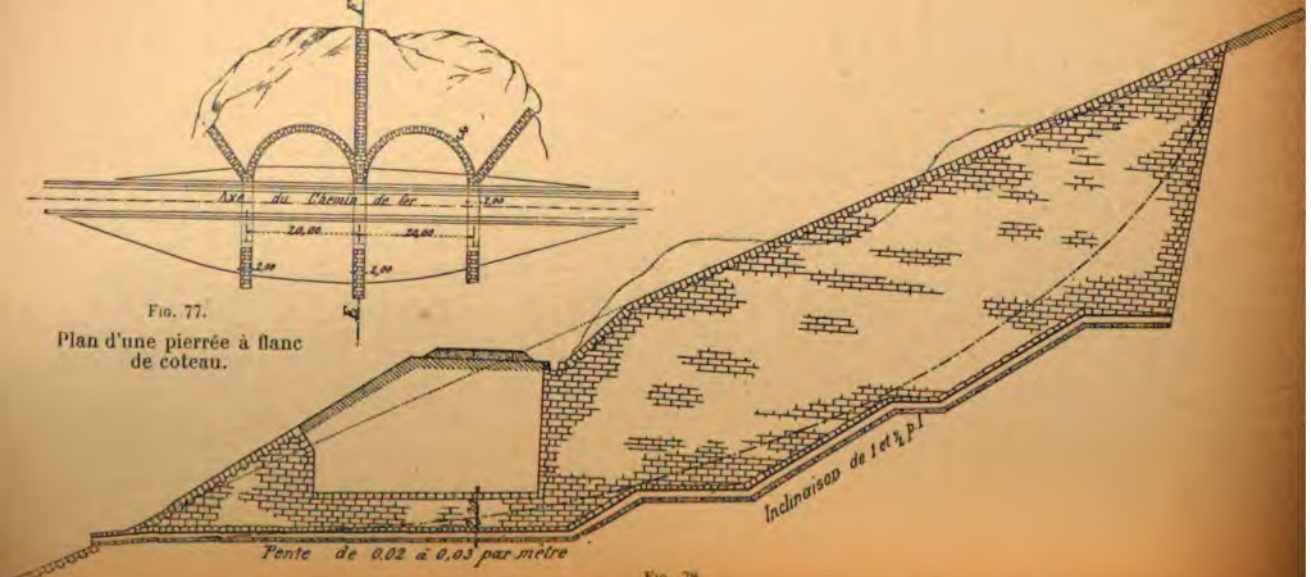


Fig. 78.

Coupe suivant EF.

Assainissement d'un remblai de grande hauteur sur un sol marécageux à l'aide de pierrées en galeries souterraines.

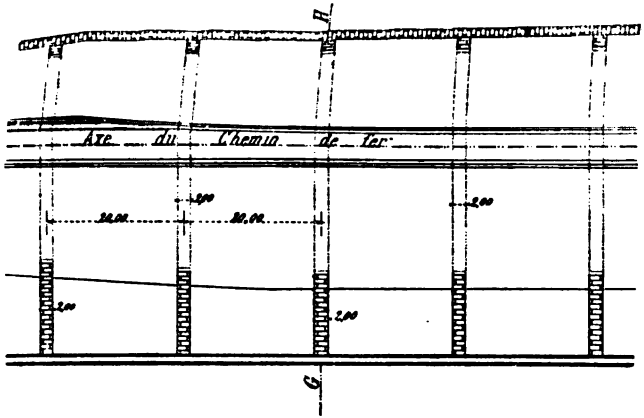


Fig. 79. — Plan.

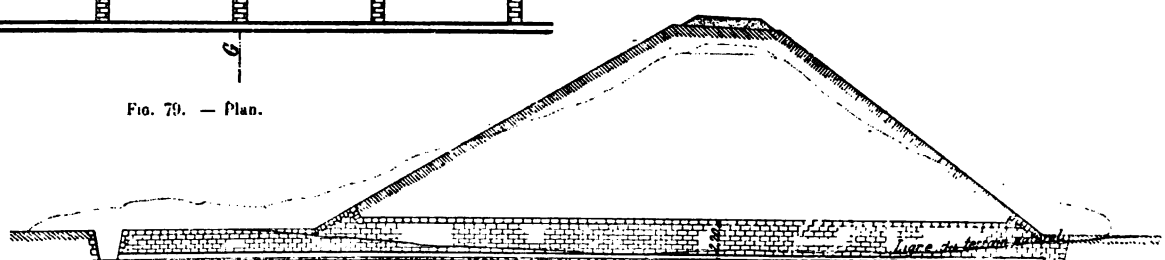


Fig. 80. — Coupe suivant GH.

« Ces galeries, d'abord boisées, sont ensuite reprises morceau par morceau pour y construire le radier en béton et le mur à pierres sèches qui constituent la pierrée.

« Si la base seule du remblai ou du terrain en mouvement a besoin d'être assainie, il peut arriver que la galerie établie à la partie supérieure suffise. Dans le cas contraire, il faut superposer une seconde galerie à la première, puis une troisième à la seconde, et ainsi de suite, en reliant ensemble les différents étages de la maçonnerie à pierres sèches jusqu'à ce qu'on ait asséché toutes les terres qui avaient besoin d'être assainies pour se consolider et demeurer en place. C'est ce qui s'est fait au remblai de Rochefort.

« Les pierrées construites dans le sens des fissures et crevasses que présente un éboulement ou celles qui contournent le terrain sujet à s'ébouler ne nous ont jamais réussi. En effet, au lieu d'offrir aux eaux d'infiltration l'écoulement le plus facile, par la ligne de plus grande pente, comme cela a lieu avec les pierrées perpendiculaires à la direction du chemin de fer, elles emprisonnent souvent ces mêmes eaux par suite des dislocations qui se produisent dans le terrain environnant et elles augmentent alors le mal plutôt que d'y porter remède (exemple : la tranchée de Villevert sur la rive droite de la Saône, entre Villefranche et Lyon).

« Nous avons donc proscrit ce mode d'établissement des pierrées.

« Le seul cas où il puisse être appliqué avec efficacité, c'est lorsque la couche glaiseuse qui provoque le glissement des terrains supérieurs, couche souvent très mince, repose elle-même sur un banc de roche solide et en place, dans lequel on peut creuser un fossé imperméable et non susceptible de perdre sa forme ou son inclinaison, fossé qui arrête complètement les eaux de filtration et les conduit jusqu'aux points les plus bas où elles doivent rencontrer leur écoulement naturel, sans leur permettre de pénétrer à travers les terres superposées à la couche d'argile. Ce moyen nous a bien réussi dans la tranchée de Dasle (embranchement de Montbéliard à Delle) et dans le coteau de Verrière (ligne de Pontarlier à Neufchâtel), qui était composé de moraines et d'argiles accolées à un massif rocheux. »

CHAPITRE II

OUVRAGES D'ART

OUVRAGES D'ART ORDINAIRES

On entend par ouvrages d'art, en général, les ouvrages nécessités par la traversée des cours d'eau ou destinés au rétablissement des voies de communication interceptées par le chemin de fer.

Parmi ces ouvrages on distingue: les ouvrages d'art *ordinaires*, ceux qui servent à la traversée des cours d'eau et des voies de communication dans des conditions normales et ordinaires comme dimensions;

Les ouvrages d'art *exceptionnels*, comme les grands ponts au-dessus de 40 mètres d'ouverture, les viaducs pour la traversée des grandes vallées ou de certaines portions de villes et les souterrains pour la traversée des cols qu'on ne peut contourner ou franchir en tranchée à ciel ouvert.

Les ouvrages d'art ordinaires se divisent en deux catégories: 1° les ouvrages destinés à assurer l'écoulement des eaux; 2° les ouvrages destinés à assurer le maintien des communications.

Considérations générales. — En général, les ouvrages d'art nécessités par l'établissement d'une ligne de chemin de fer se construisent suivant les mêmes règles techniques que ceux nécessaires à l'établissement d'une route, soit au point de vue des dimensions des diverses parties de ces ouvrages, soit au point de vue du système de fondations à adopter et aussi de l'exécution des diverses natures de maçonneries qui se font partout de la même manière.

On remarquera, toutefois, que l'établissement d'un chemin de fer commande principalement de *fonder solidement* et de *construire simplement*.

En effet, d'une part, la surcharge plus ou moins grande résultant des remblais, et, d'autre part, le passage des trains à fortes charges et à grandes vitesses peuvent avoir une influence plus ou moins dangereuse sur la stabilité de l'ouvrage. De là la nécessité d'une fondation solide, et, en général, de dimensions plus fortes pour les ouvrages *sous chemins de fer* que pour les ouvrages *sous routes*.

Au point de vue de la dépense, les ouvrages ordinaires sous le chemin de fer étant en général bien plus nombreux que sous une route, leur exécution commande une plus grande simplicité.

A moins de circonstances exceptionnelles, en effet, comme le voisinage ou la traversée d'une ville, où les détails d'un ouvrage et son appareil demandent à être soignés, les ouvrages en rase campagne ne sont destinés à être visités ou examinés par personne qui puisse en apprécier l'architecture ; il convient de les traiter avec simplicité. Aussi doit-on supprimer, autant qu'on le peut, les appareils de taille dans les parements et les chaînes d'angles et n'employer spécialement la *pierre de taille proprement dite* que pour les bandeaux des voûtes, les plinthes, rampants, etc.

Fondations. — Les petits ouvrages courants demandent, en général, à cause de leur moindre surface, beaucoup moins de précautions dans leurs fondations que les ouvrages à grande ouverture; on comprend dès lors que pour ces derniers une fondation soignée constitue la condition essentielle de leur stabilité.

Cette question, qui sort un peu du cadre de cet ouvrage, sera traitée plus spécialement dans celui de la construction des ponts en général. Il est cependant utile d'indiquer que les fondations doivent être faites sur un sol incompressible : le rocher solide, le gravier ou le sable bien homogène et l'argile compacte.

On trouvera ci-après les différents cas qui peuvent se présenter et qui sont détaillés dans l'ouvrage de M. Résal savoir :

1° Fondations sur terrains accessibles à sec;

2° Fondations sur terrains accessibles à l'aide d'épuisements;

3° Fondations sur enrochements, pilotis, béton immergé, radiers généraux;

4° Fondations à l'air comprimé avec caissons;

5° Fondations dans les terrains vaseux, à l'aide de puits blindés ou de massifs isolés.

Épaisseur des voûtes. — FORMULES DIVERSES. — En ce qui concerne les dimensions à adopter pour les épaisseurs à donner aux voûtes à la clef, M. Croizette-Desnoyers a discuté, dans son ouvrage sur la *Construction des ponts*, la valeur des diverses formules données par MM. Rolland, Perronnet, Léveillé, Dupuit et d'autres ingénieurs, et recommande plus spécialement les suivantes pour lesquelles il établit une distinction entre les cas où elles s'appliquent à des ponts sous routes et à des ponts sous chemin de fer, savoir (d représentant l'ouverture, R le rayon de l'intrados, E l'épaisseur à la clef) :

	PONTS SOUS ROUTES	PONTS SOUS CHEMINS DE FER
	PLEIN CINTRE	
	$E = 0{,}15 + 0{,}15\sqrt{d}$	$E = 0{,}20 + 0{,}17\sqrt{d}$
	VOUTÉS EN ARC DE CERCLE	
Surbaissé au :		
1/4	$E = 0{,}15 + 0{,}15\sqrt{d}$ [1]	$E = 0{,}20 + 0{,}17\sqrt{d}$ [1]
1/6	$E = 0{,}15 + 0{,}14\sqrt{d}$	$E = 0{,}20 + 0{,}16\sqrt{d}$
1/8	$E = 0{,}15 + 0{,}13\sqrt{d}$	$E = 0{,}20 + 0{,}15\sqrt{d}$
1/10	$E = 0{,}15 + 0{,}12\sqrt{d}$	$E = 0{,}20 + 0{,}14\sqrt{d}$
1/12	$E = 0{,}15 + 0{,}11\sqrt{d}$	$E = 0{,}20 + 0{,}13\sqrt{d}$

Voûtes biaises. — Si on désigne par e l'épaisseur à donner à une voûte droite de même ouverture, l'épaisseur de la

[1] Ces deux formules s'appliquent également aux voûtes elliptiques.

voûte biaise sera :

$$e' = \frac{e}{\sqrt{\sin \alpha}}.$$

α étant l'angle du biais.

Si $\alpha = 90°$, on a :

$$e' = e \text{ (ouverture droite).}$$

Si $\alpha = 45°$, on a :

$$e' = 1{,}40\, e;$$

on ne descend pas au-dessous de ce biais.

A ces renseignements nous joignons une *Note sur les dimensions à donner aux parties principales des ponts en maçonnerie*, de M. Bonneau du Martray, ingénieur en chef (ligne de Chagny à Auxonne, novembre 1880).

L'épaisseur des voûtes à la clef peut être calculée à l'aide de la formule suivante :

$$e = 0{,}30 + 0{,}04\, d + 0{,}002 \frac{d^2}{f},$$

ou

$$e = 0{,}30 + d\left(0{,}04 + 0{,}002 \frac{1}{\delta}\right),$$

dans laquelle :

e représente l'épaisseur à la clef;

d la distance entre les piédroits ou l'ouverture;

f la flèche ou montée ;

δ le surbaissement.

Pour les voûtes en plein cintre cette formule devient :

$$e = 0{,}30 + 0{,}044\, d,$$

ou sauf une différence négligeable :

$$e = 0{,}30\,(1 + 0{,}15\, d).$$

Courbe d'extrados. — On extradosse, en général, par un arc de cercle ayant son centre situé au-dessous de celui de la courbe d'intrados. Cette disposition, que rien ne justifie en

théorie, est difficilement réalisable dans la pratique. Il convient d'adopter un système analogue à celui des types de la Compagnie d'Orléans, et de composer l'extrados :

1° D'un arc de cercle BH concentrique à la circonférence d'intrados (*fig.* 81) ;

2° D'une tangente menée à l'arc BH par le point N pris sur

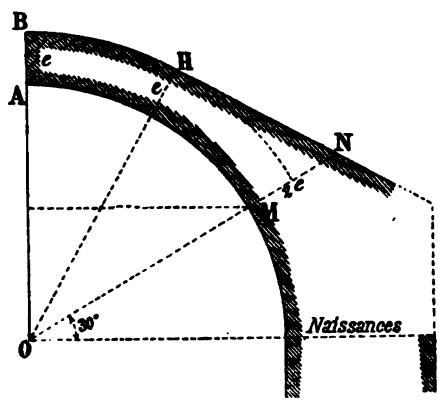


Fig. 81.

le joint de rupture [1], à une distance de l'intrados égale :

A 2 fois l'épaisseur à la clef, pour les ponts de 3 mètres d'ouverture et au dessus ;

A 1 fois et demie l'épaisseur à la clef pour les aqueducs et ponceaux de moins de 3 mètres d'ouverture.

Épaisseur des culées. — Pour les ponts en plein cintre de moins de 10 mètres d'ouverture, l'épaisseur des culées

[1] Le joint de rupture est situé aux naissances dans les voûtes en arc de cercle. Dans les voûtes en plein cintre, en ellipse ou en anse de panier, le point M doit être pris sur l'horizontale menée par le milieu de la flèche ou sur le rayon formant avec la ligne des naissances un angle de 30°.

aux naissances peut être calculée au moyen des formules :

$E = 0{,}30\ (1 + d)$ pour les ponts de moins de 4 mètres;
$E = 0{,}25\ (2 + d)$ — de 4 à 6 mètres;
$E = 0{,}20\ (4 + d)$ — de 6 à 8 mètres;
$E = 0{,}15\ (8 + d)$ — de 8 à 10 mètres.

La face postérieure de la culée aura un fruit de 1/10e.

Les quatre formules qui précèdent supposent que la hauteur des piédroits n'est pas supérieure à la moitié de l'ouverture. Dans le cas contraire, il est bon de faire le calcul du moment de stabilité. Il en est de même lorsqu'il s'agit d'une voûte surbaissée ou d'une voûte en plein cintre de plus de 10 mètres d'ouverture.

Dans ces calculs on peut supposer que la courbe des pressions part du 1/3 supérieur du joint de clef et aboutit au 1/3 inférieur du joint de rupture. On peut assimiler, en outre, les arcs de cercle à des arcs de parabole [1]. Ces hypothèses rendent très facile le calcul du moment de stabilité de la culée.

On multipliera par 1,50 l'épaisseur théorique correspondant à la limite de stabilité de la culée; le produit donnera l'épaisseur à adopter.

§ 1. — Ouvrages pour assurer l'écoulement des eaux

On peut s'occuper maintenant des conditions particulières aux ouvrages du chemin de fer en ce qui concerne spécialement l'emplacement, la direction et la hauteur des traversées auxquelles ils donnent lieu.

Une route franchit le plus souvent un cours d'eau norma-

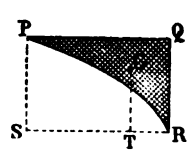


Fig. 82.

[1] On sait que le segment parabolique PQR (*fig.* 82) est égal aux 2/3 du rectangle PQRS, et que la distance TR du centre de gravité de ce segment à la ligne QR est égale au 1/4 de RS.

lement à sa direction, avec un faible remblai ou, du moins, d'une hauteur suffisante pour assurer à l'ouvrage le débouché qui lui est nécessaire. Le tracé obéit ici aux conditions que lui impose la traversée.

Pour un chemin de fer, le tracé devant, au contraire, satisfaire à des exigences multiples, ne s'arrête pas aux conditions ordinaires de traversée des cours d'eau dont le lit est parfois dévié et qui sont le plus souvent franchis obliquement à des hauteurs bien supérieures à celles des routes. C'est ici que les conditions des ouvrages doivent se modifier en conséquence et que les cours d'eau doivent se prêter aux exigences d'établissement du tracé.

Déviation de cours d'eau. — Si la ligne traverse obliquement un cours d'eau, à moins de circonstances exceptionnellement difficiles, et étant donné que la construction en maçonnerie d'un pont biais donne lieu à une plus grande dépense et à de grandes sujétions, on doit tâcher de faire une traversée droite en déviant, en conséquence, le cours d'eau, soit en amont, soit en aval de la ligne, en *d* ou *d'* (*fig.* 83). Ce n'est que lorsque ces déviations sont, sinon impossibles, du moins onéreuses ou fort difficiles qu'on a recours à un pont biais en maçonnerie; encore dans ce cas, et le plus souvent, du moins actuellement, on construit les culées du pont suivant le biais du cours d'eau et on pose un tablier métallique, ce qui est bien plus économique. On ne voit que fort rarement, en effet, sinon presque jamais, de ponts biais en maçonnerie sous un chemin de fer, tout au moins en rase campagne.

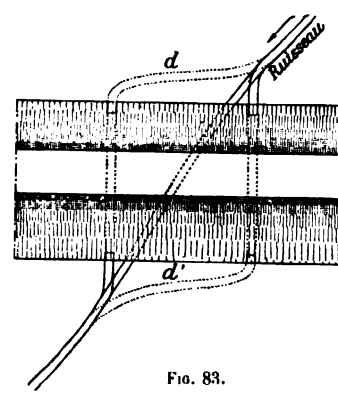


Fig. 83.

Quand, par exemple, dans une vallée sinueuse une ligne

de chemin de fer et un cours d'eau se croisent plusieurs fois, on doit, si on le peut, dévier le cours d'eau en le maintenant d'un même côté de la ligne (*fig.* 84) : une déviation évite ainsi deux traversées.

Mais, si la disposition des lieux, comme par exemple le

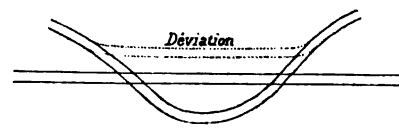


Fig. 84.

rapprochement de deux coteaux au pied desquels se trouve le tracé, ne permet pas de faire cette déviation en *a* (*fig.* 85); on peut faire néanmoins la traversée oblique ; alors, pour

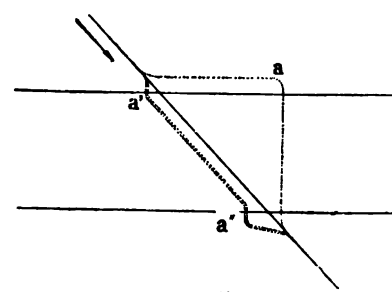


Fig. 85.

éviter les complications d'appareil dans la maçonnerie des têtes, on retourne celles-ci normalement aux extrémités *a'*, *a''*; on a ainsi des têtes droites et on exécute obliquement la maçonnerie du corps de l'ouvrage. Ces biais ne donnent lieu à aucune difficulté ; toutefois cette disposition n'est guère applicable qu'à des petits aqueducs.

Implantation des ouvrages. — Il importe de choisir convenablement le point d'implantation des ouvrages, soit pour éviter des difficultés, soit pour réduire autant qu'on le peut la dépense correspondante.

Il semble tout naturel, à première vue, de faire cette implantation au point le plus bas de la vallée où se trouve par conséquent l'emplacement du cours d'eau dont le lit est légèrement dévié, s'il y a lieu, suivant une direction normale à la ligne. Mais on remarquera que ce point, correspondant généralement au plus grand épanouissement des remblais, est celui qui exige la plus grande longueur et, souvent aussi, la plus grande profondeur de fondation. Il entraîne par là même une dépense plus ou moins considérable qu'il importe d'éviter ou de réduire autant que possible.

C'est surtout dans les petits vallons que l'on rencontre le plus grand nombre d'ouvrages et, par conséquent, que ces cas se présentent le plus souvent.

On peut supposer que le profil d'un vallon soit figuré par le croquis ci-dessous (*fig.* 86).

Afin d'assurer convenablement l'écoulement des eaux et de dégager le terrain, il suffit d'établir le radier un peu au-des-

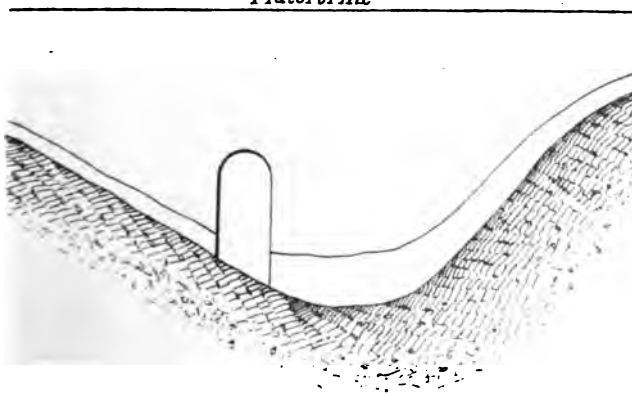


Fig. 86.

sous, ou, tout au moins, au niveau du point le plus bas du remblai à l'amont, et aussi près que possible du coteau ; en un mot dans un point où, le remblai étant moins élevé, la fondation sera par conséquent moins longue et moins coûteuse.

On aura soin, en tout cas, au moyen d'un léger curage ou d'un redressement du lit aux abords, de faciliter l'arrivée du ruisseau sous l'ouvrage à l'amont, et son dégagement à l'aval, par une petite déviation s'il y a lieu.

Types d'ouvrages d'art. — Les ouvrages d'art se construisent, en général, d'après des types adoptés dans chaque réseau et qui ne diffèrent, d'un réseau à l'autre, que par quelques dispositions de détail concernant notamment l'appareil des maçonneries et la nature des matériaux à employer.

Lors de la construction des chemins de fer par l'État, l'Administration supérieure, par une circulaire du 30 juillet 1879, adressa à tous les chefs de service une collection de formules et de types choisis parmi ceux qui ont été adoptés par les grandes Compagnies et qui, au point de vue du goût, de l'économie et de la solidité, ont reçu la sanction de l'expérience.

Ces types, qui ne s'appliquent qu'aux ouvrages courants, sont faits dans le but de faciliter aux ingénieurs l'étude des projets dont les dispositions peuvent, du reste, varier d'après les conditions dans lesquelles les ouvrages sont placés.

Pour les ouvrages d'art exceptionnels les dispositions sont toujours imposées ou inspirées par les circonstances locales qui présentent, on le comprend, une grande diversité.

Il est donc difficile de donner des types de viaducs ou de grands ponts ; néanmoins on peut à l'occasion s'inspirer des conditions d'établissement d'ouvrages similaires pour combiner les dispositions à adopter suivant les circonstances.

Pour tous les ouvrages courants les dimensions sont données dans chaque cas par le type correspondant suivant l'importance du cours d'eau et aussi la hauteur du remblai à supporter.

Ordre d'exécution. — Dès que l'entrepreneur a achevé l'installation de ses chantiers, son premier soin est de préparer ses approvisionnements pour entreprendre l'exécution des ouvrages dont il peut avoir besoin pour ses terrassements. A cet effet l'ingénieur lui fait remettre par le chef de section un ordre d'exécution de chaque ouvrage conforme au modèle ci-après (format de $0^m,21/0^m,31$) qui a été utilisé dans un service de construction et qui, étant rempli conformément au projet ou rectifié d'après les modifications appor-

tées en cours d'exécution, est très commode pour faire ultérieurement l'album des ouvrages d'art de la ligne.

N° d'ordre
DE L'OUVRAGE

SECTION
de M. .....

.. Lot

ENTREPRENEUR
M. .....

CHEMIN DE FER
de ..... à .....

ORDRE D'EXÉCUTION

d'un ..... de ..... mètres d'ouverture
à construire ..... le chemin de fer au piquet .....
Hauteur du remblai sur l'axe .....

TYPE N° .....

COTES		NATURE DES MATÉRIAUX
Du rail	209,13	En pierre de taille (les plinthes, bandeaux des voûtes, crossettes et dés des rampants des murs en aile).
Des terrassements de la plateforme	208,63	
Du dessus de la plinthe	208,63	
De la douelle de la voûte à la clef	207,83	
Des naissances	205,83	.....
Du radier	204,33	En moellons piqués (néant).
Du dessus du béton	»	.....
Du fond de la fouille	203,93	En moellons épincés (les voussoirs, parements des culées et murs en aile),
Du terrain naturel sur l'axe	»	.....
Radier de 0,40 d'épaisseur (en béton).		En moellons bruts (le reste de l'ouvrage).
Bandeaux de la voûte (de 0,40 d'épaisseur).		.....
Chape en béton de (0,08) d'épaisseur).		En libage (les garde-radier et les plinthes des petits ouvrages).
Longueur entre les têtes	(9m,60)	

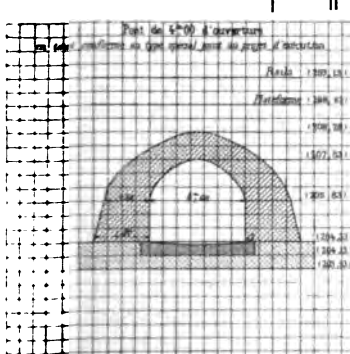


FIG. 87.

Ordre d'exécution du .....

L'Ingénieur ordinaire,

Remis à l'entrepreneur, le .....

Le chef de section, *L'Entrepreneur,*

Date du piquetage .....
Cote sur la borne repère n° ....., placée à ..... mètres à (gauche ou droite) de l'axe du chemin de fer.

Le chef de section, *L'Entrepreneur*

On n'étudiera pas, bien entendu, chacun des types qu'on peut avoir à adopter ; les conditions de leur adaptation à tel ou tel cas, suivant les circonstances, seront seules indiquées.

Débouchés. -- Le plus simple des ouvrages est celui qui est destiné à assurer l'écoulement des eaux pluviales, d'une rigole ou d'un fossé ordinaire d'un débit peu important : c'est l'*aqueduc*. Parfois le moindre débouché serait suffisant : mais on ne descend généralement pas au-dessous du débouché de $0^m,60$ à $0^m,70$ pour un ouvrage sous le chemin de fer.

On fait le plus souvent les aqueducs sous la voie avec une voûte ; c'est préférable au point de vue de la solidité, car on ne trouve pas toujours à proximité la pierre pouvant fournir des dalles de dimensions convenables. Comme forme de voûte le plein cintre est le plus généralement adopté.

Le débouché de $0^m,40$ ou de $0^m,50$ et la couverture en dalles sont plus spécialement réservés aux aqueducs à établir sur les fossés de la ligne à la traversée des passages à niveau et sous les chemins latéraux.

Il arrive aussi quelquefois que l'on a besoin de ménager, sous la plateforme, le passage d'une rigole de faible débit qu'on ne peut ni dévier ni supprimer, comme servant à l'usage d'un propriétaire.

Buse en fonte. — Dans ce cas, si on ne peut ou si on ne veut pas y construire un aqueduc, on y fait placer une *buse*

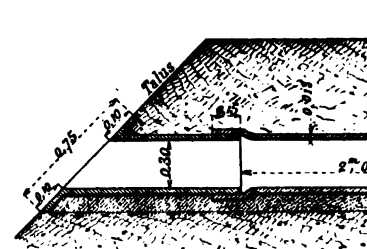


Fig. 88.

en fonte de $0^m,30$ ou $0^m,60$ de diamètre (types de l'Orléans et de l'Ouest, collection administrative, *fig.* 88).

C'est un tuyau en fonte de $0^m,013$ ou $0^m,015$ d'épaisseur par bouts de 2 mètres de longueur avec emboîtement comme les tuyaux de drainage, que l'on place ordinairement sur le sol ou sur une légère couche de béton ou d'argile pilonnée. A l'affleurement des talus, de chaque côté, on place un tuyau dont l'extrémité est préparée de façon à former une tête. Le poids de ces tuyaux est d'environ 100 kilogrammes par mètre courant. Celui des tuyaux de $0^m,60$ de diamètre et $0^m,015$ d'épaisseur est d'environ 220 kilogrammes.

On fait aussi des buses en béton de $0^m,40$ ou de $0^m,50$ de diamètre intérieur, avec une épaisseur de $0^m,10$ à $0^m,12$, qui résistent fort bien à la charge des remblais.

Aqueduc romain. — On peut aussi, dans le cas précédent, établir un drain formé d'*aqueducs romains*, comme ceux employés à l'assainissement de certains bâtiments de gares.

Ce sont des tuyaux de poterie de $0^m,02$ d'épaisseur, $0^m,25$ de largeur à la base et $0^m,30$ de hauteur intérieure, ayant la forme triangulaire dont les faces latérales sont convexes (*fig.* 89).

Ces tuyaux sont posés sur une couche de béton de gravier

Aqueduc romain

Coupe

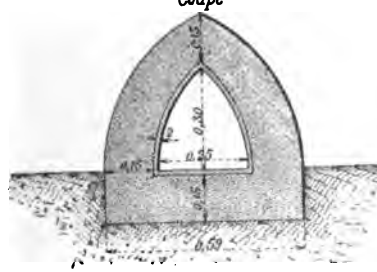


Fig. 89.

de $0^m,15$ d'épaisseur et enveloppés d'une autre couche de même épaisseur. Quand cette enveloppe a fait prise complète, on l'entoure de terre et on continue le remblai.

On fait à ce drain en amont et en aval, à l'affleurement

des talus, une petite tête en maçonnerie formant mur en aile avec une plinthe et deux petites dalles formant rampe de 0m,17 de largeur et environ 0m,08 d'épaisseur (*fig.* 90).

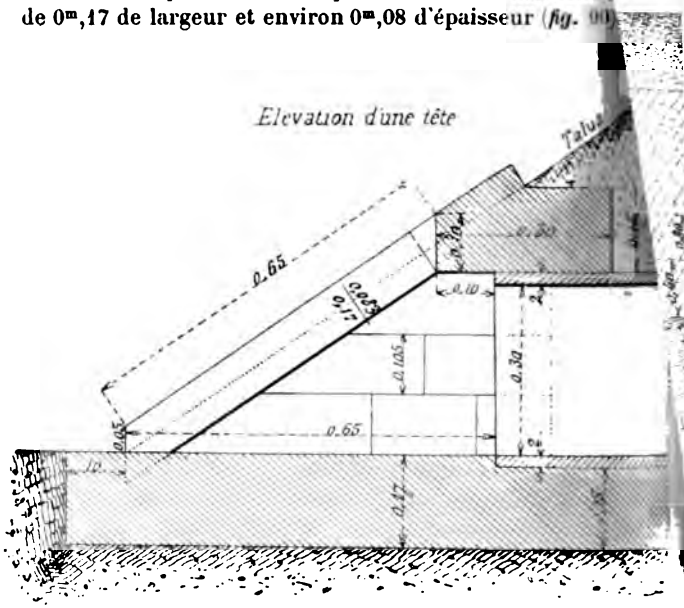
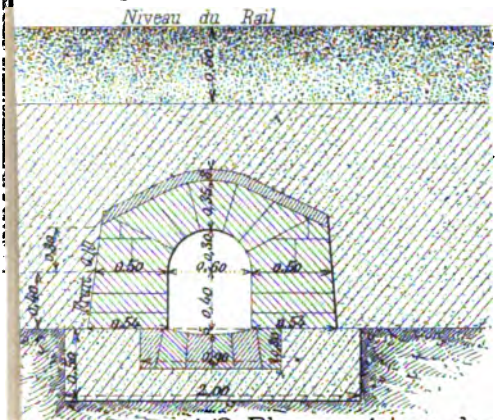


Fig. 90.

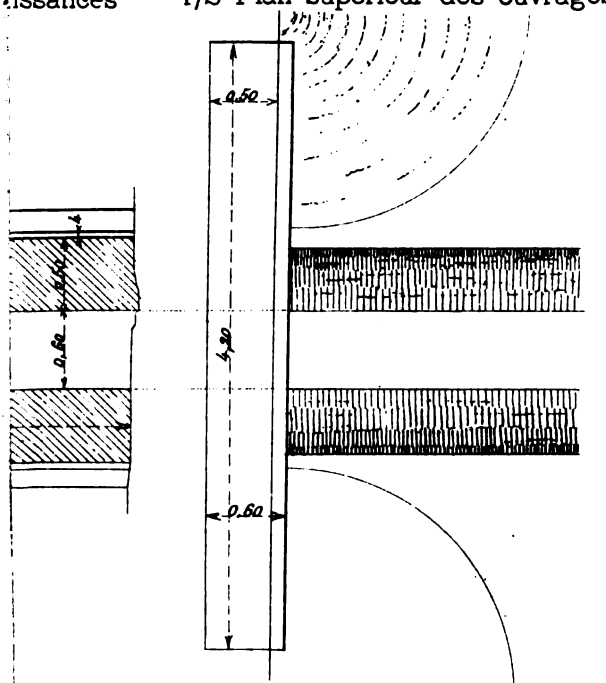
Un aqueduc de ce genre peut encore écouler 80 litres à la seconde et revient à environ 9 fr. 50 le mètre courant.

Le type avec murs en retour, décrit planche IV, semble donner un certain cachet de lourdeur à l'ouvrage ; il consolide, il est vrai, les culées en leur servant, pour ainsi dire, de contrefort pour résister à la poussée des remblais. Mais, si ces remblais doivent s'élever au-dessus de la plinthe, et que le ruisseau soit quelque peu sujet à des débordements, il y a lieu de prolonger suffisamment les murs en retour, de façon à ce que le pied des talus ne tombe pas dans le ruisseau ; il faut aussi avoir soin de perreyer le pied des quarts de cône, pour éviter des dégradations résultant des corrosions des eaux.

Coupe transversale



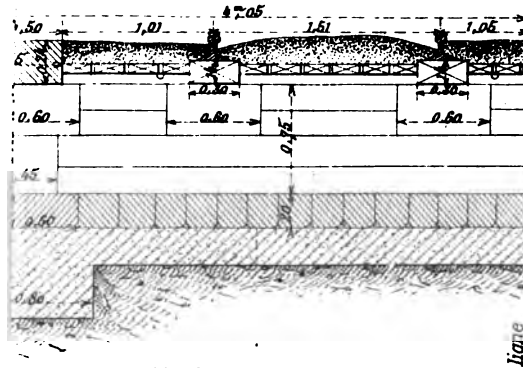
issances 1/2 Plan supérieur des ouvrages



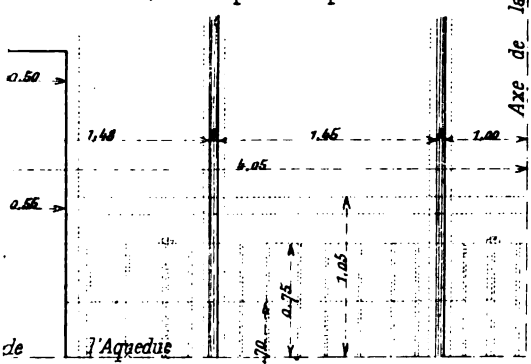
P. COLAS dess. grav. 12, Rue Gobert, Paris

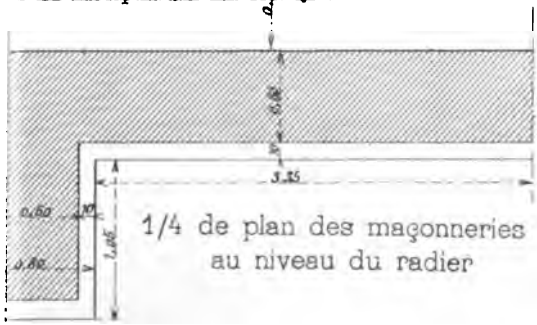
bus

Coupe longitudinale



1/4 de plan supérieur

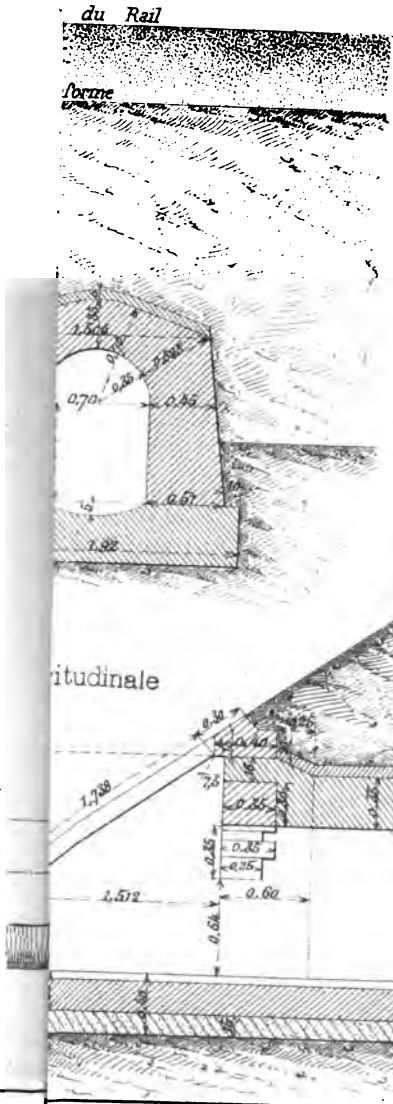




1/4 de plan des maçonneries au niveau du radier

P. COLAS dess. grav 12, Rue Gobert, Paris

ransversale



P. COLAS dess. grav. 12, Rue Gobert, PARIS

Aqueduc voûté de 0m,60 d'ouverture. — On trouvera (Planche IV) le type d'un aqueduc voûté de 0m,60 d'ouverture avec *murs en retour*, c'est-à-dire retournés d'équerre aux culées, parallèlement au chemin de fer, pour soutenir les remblais, qui sans cela tomberaient dans le fossé sur lequel l'ouvrage est construit.

Ce type donne aux piédroits une hauteur minimum de 0m,40, au-dessous de laquelle on ne peut pas descendre sans enterrer la voûte, ce qui serait d'un effet disgracieux ; néanmoins, il exige encore pour la plateforme une hauteur de 1m,10 au-dessus du terrain naturel, soit pour la cote du rail 2 mètres au-dessus du radier ou fond du fossé.

Mais il peut arriver que la plateforme, soit en déblai, soit en-remblai, se trouve à peu près au niveau du terrain naturel, et qu'on ne puisse abaisser le fond du fossé ; dans ce cas le type décrit ci-dessus devient inapplicable.

Aqueduc de 0m,70 d'ouverture avec tablier en charpente (Planche V). - La Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée fait usage, dans cette circonstance, d'un type d'aqueduc auquel elle donne 0m,70 d'ouverture avec tablier en charpente, ou longrines sous rails, et que l'on désigne ordinairement sous le nom d'*aqueduc-plancher ;* les détails en sont fournis par la planche V ci-contre.

La plinthe de l'aqueduc se trouvant au niveau du ballast, la cote du rail est à 1m,01 au-dessus du radier, soit 1 mètre environ de moins que la hauteur exigée par le type précédent.

C'est toute la réduction qu'on peut obtenir ; elle est relativement énorme ; aussi ce type est-il couramment appliqué dans tous les cas où l'on est gêné par la hauteur.

Aqueduc voûté de 0m,70 avec murs en aile. — On emploie beaucoup, dans ce cas, le type avec murs *en aile* terminés par un dé à l'affleurement du pied des talus qui sont maintenus ainsi de chaque côté, jusqu'à l'embouchure de l'ouvrage. On trouvera (Planche VI) un type d'aqueduc voûté de 0m,70 d'ouverture établi dans ces conditions.

Les murs en aile semblent mieux dégager l'ouvrage et lui

donner, pour ainsi dire, un peu plus d'élégance. Les circonstances seules doivent guider, du reste, dans le choix du type qui convient le mieux dans chaque cas.

Si, par exemple, le ruisseau avait une certaine profondeur par rapport au terrain naturel, si les berges étaient un peu élevées, les dés terminant les murs en aile se trouveraient alors un peu trop enfoncés dans le talus du ruisseau, gêneraient l'écoulement des eaux qui, en temps de crues, pourraient passer derrière et dégrader les remblais ainsi que les maçonneries.

Ponceau voûté de 1m,50, avec murs en aile et murs en retour. — On adopte, dans ce cas, un type mixte qui consiste à faire des murs en aile terminés par un petit mur en retour correspondant aux berges du ruisseau et protégeant le remblai contre l'action des eaux.

Le lit du cours d'eau se trouve ainsi élargi à chaque tête de l'ouvrage et les talus de ces élargissements sont alors protégés par un petit perré sur une longueur de quelques mètres, suivant les circonstances.

On trouvera (Planche VII) le type d'un ponceau de 1m,50 adopté par la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée et la Compagnie d'Orléans.

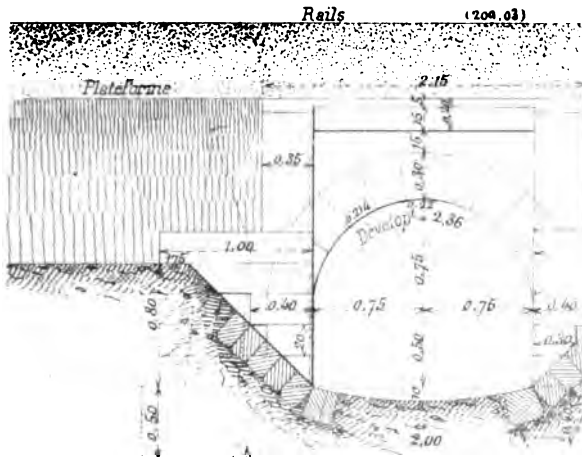
Comme on peut s'en rendre compte, la hauteur du rail au-dessus du radier pourrait être d'environ 2m,20 dans le type de 0m,70 avec 0m,35 de remblai sur la chape; cette hauteur est de 2m,40 dans le type de 1m,50 avec 0m,21 de remblai sur la chape, en supposant dans les deux cas la plinthe au niveau de la plateforme.

Pont de 4 mètres d'ouverture. — On considérera maintenant un ouvrage plus important, un pont de 4 mètres, par exemple, et l'on examinera les conditions auxquelles il doit satisfaire, si l'on n'envisage que le débouché dont le cours d'eau peut avoir besoin.

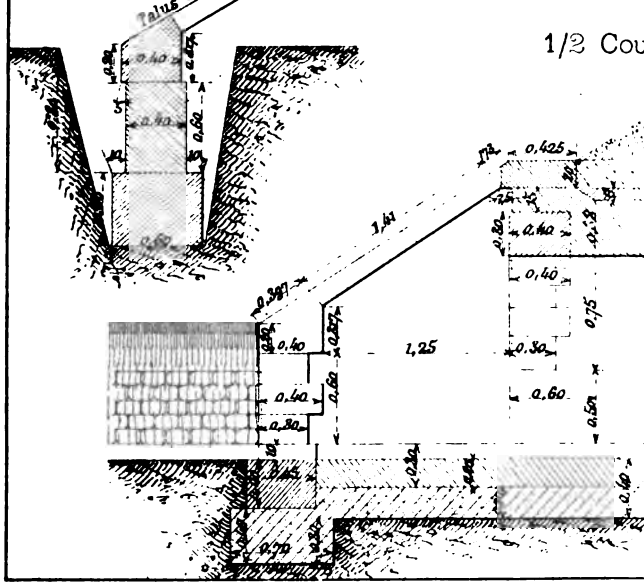
Si on est libre sur le choix de la voûte, on supposera la forme en plein cintre, qui est la plus ordinaire et la plus simple (*fig.* 91). Une fois le profil d'extrados déterminé comme il a été dit ci-dessus, on lui applique les épaisseurs

av

Élévation



Coupe du mur en retour à 3/2



1/2 Coup

données par la formule adoptée, soit $0^m,55$ à la clef (d'après M. Croizette-Desnoyers), avec une chape de $0^m,10$ par dessus ; pour les piédroits, $1^m,50$ d'épaisseur aux naissances [Bonneau du Martray : $0^m,25\,(2+d)$], une hauteur proportionnée à l'importance du ruisseau, mais généralement telle qu'elle donne

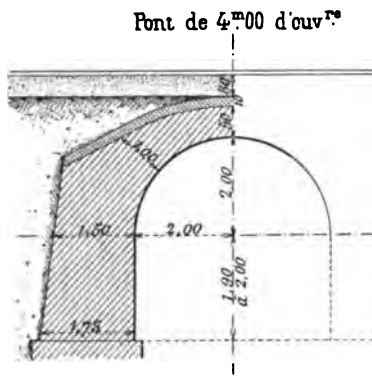


Fig. 91.

à l'ouvrage une hauteur sous clef à peu près égale au débouché, soit environ $1^m,90$ à 2 mètres avec fruit de un dixième ; ce qui donne une épaisseur d'environ $1^m,75$ à la base.

On a ainsi pour la cote du rail au-dessus du radier :

Piédroits.....	$1^m,90$ à $2^m,00$
Montée de la voûte.....	2 »
Épaisseur de la voûte et de la chape.	0 60
Couche de ballast.....	0 50
Total...	$5^m,00$ à $5^m,10$

Pour que ce type puisse être appliqué ainsi sans changement, il faut que la cote donnée par le profil en long soit bien de $5^m,10$ entre le rail et le fond du ruisseau. Cette circonstance ne se rencontre pas toujours, cette cote étant ou

plus petite ou plus grande que la hauteur exigée par le type.

Quand cette cote est plus petite, on peut gagner une certaine hauteur en surbaissant la voûte par un arc de cercle, ou, mieux encore, en y substituant des poutres métalliques, ce qui supprime toute flèche. Ainsi, pour le cas qui nous occupe, une poutre de $0^m,40$ suffirait; on pourrait placer cette poutre à $0^m,10$ ou $0^m,20$ en contre-bas de la cote d'intrados sans diminuer le débouché, et on gagnerait encore de $0^m,70$ à $0^m,80$ sur la hauteur totale du rail, ce qui est énorme.

Quand, au contraire, la hauteur des remblais est plus grande que la cote du type, ce qui arrive le plus ordinairement, il se présente alors deux combinaisons pour racheter la différence.

Allongement ou exhaussement du type. — On peut élever l'ouvrage en exhaussant les piédroits de façon à placer la plinthe au niveau de la plateforme, ou bien encore conserver l'ouvrage tel qu'il est en l'allongeant sous le remblai de manière à le faire sortir ainsi du talus de chaque côté à sa hauteur naturelle (*fig.* 92).

On emploie le premier système pour les ponts à grande

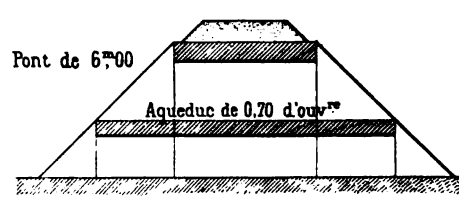


Fig. 92.

ouverture; on n'en voit jamais qui soient chargés de remblais: ils se surélèvent et ne s'allongent pas.

On emploie le second pour les aqueducs et ponceaux; ils s'allongent, au contraire, et ne se surélèvent pas: on donne, dans ce cas, une surépaisseur aux culées sous le remblai, mais les murs en aile ou les murs en retour ne diffèrent pas de ceux du type normal. Dans le type exhaussé, au contraire, ces murs prennent, par leur hauteur, une certaine

importance; quoiqu'ils ne contribuent pas à la solidité de l'ouvrage, on est obligé d'en augmenter les dimensions. C'est donc là un grand avantage du premier système qui s'accentue encore pour de grandes ouvertures.

L'expérience montre, d'une façon à peu près générale, que pour les ouvrages d'art courants, c'est-à-dire jusqu'à 4 ou 6 mètres d'ouverture, on a toujours avantage à allonger le type sous remblai au lieu de l'exhausser, à moins que cet exhaussement ne soit de peu d'importance, comme 1/4 ou 1/5, par exemple; car alors, dans ce cas, ce n'est, à vrai dire, qu'une appropriation du type à la cote qui lui convient, ce qui augmente peu la dépense de l'ouvrage.

En résumé, quelle que soit la modification à apporter au type examiné ci-dessus, on se trouve en présence de deux inconvénients : un allongement de l'ouvrage d'autant plus onéreux que la section en est plus grande, ou bien un exhaussement obligeant à construire des murs en aile ou en retour qui augmentent considérablement la dépense et la rendent toujours supérieure à celle de l'allongement du type.

Type à culées perdues. — On emploie beaucoup un type qui ne présente pas ces inconvénients, supprime au contraire les murs en aile et les murs en retour, et n'a que la largeur

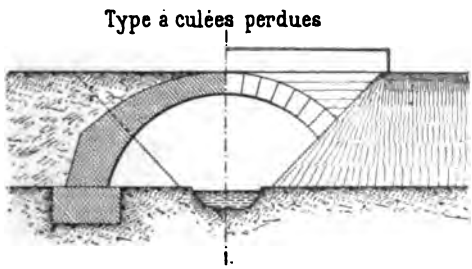


FIG. 93.

de la plateforme, quelle que soit sa hauteur; c'est le type dit à *culées perdues* (*fig.* 93).

Il consiste à laisser le remblai s'avancer de chaque côté

jusqu'aux bords du ruisseau à franchir et à jeter d'un talus à l'autre une arche surbaissée d'une ouverture plus grande que ne le comporte la largeur du cours d'eau. Ce dernier point, qui occasionne une augmentation de dépense, constitue un inconvénient de ce type, surtout quand on l'applique à des débouchés inférieurs à 8 mètres. Mais, pour des largeurs plus grandes, il donne d'excellents résultats et présente plusieurs avantages, notamment :

1° De diminuer la surface de la fondation en la réduisant aux deux culées de la largeur de la plateforme seulement, avantage d'autant plus appréciable que la profondeur en est grande ;

2° De faciliter la traversée des cours d'eau surtout normalement, en rendant la déviation moins longue à cause de la moindre longueur occupée par l'ouvrage ;

3° De réserver l'avenir en permettant soit d'augmenter ultérieurement le débouché du cours d'eau, soit de créer une nouvelle voie à côté de celui-ci, dont le lit peut être dévié en conséquence et maintenu, s'il y a lieu, par une espèce d'endiguement soutenant le chemin.

Ces avantages sont surtout appréciables sur les lignes à voie unique, puisque l'ouvrage tout entier profite de la réduction de largeur, tandis que, avec le type allongé ou exhaussé, la partie correspondant aux talus reste la même, quelle que soit la largeur de la voie. Aussi ce type est-il appliqué fréquemment même pour des ouvertures inférieures à 8 mètres; on ne l'emploie guère pour des ouvertures supérieures à 20 mètres.

Détermination du prix de revient des ouvrages. — Le prix de revient des ouvrages peut varier sensiblement avec les localités, par suite de la différence du prix des matériaux; néanmoins, pour un avant-projet, on peut admettre sans grande erreur les éléments suivants qui sont extraits de plusieurs projets d'exécution de lignes de difficulté moyenne:

Pour les petits aqueducs et ponceaux jusqu'à 3 mètres d'ouverture, on fait généralement le métré de la partie invariable d'un ouvrage de même type correspondant à une tête, c'est-à-dire les murs en aile avec amorce de $0^m,60$ dans le mur de

tête, sous la plinthe, et, séparément, celui d'un mètre courant du corps de l'ouvrage. On n'a plus ensuite qu'à grouper le nombre de têtes et les longueurs d'ouvrages semblables pour avoir le métré correspondant à chaque type.

On trouvera ci-après, par nature d'ouvrages, le résumé du métré d'un aqueduc voûté de 0m,70, du type décrit précédemment, du tableau des aqueducs semblables prévus ou à prévoir sur une ligne et devant servir, avec l'application des prix, à la détermination de la dépense correspondante.

Résumé de métré d'un aqueduc de 0m,70 d'ouverture

NATURE D'OUVRAGE	MÉTRÉ d'une tête	MÉTRÉ d'un mètre courant du corps de l'ouvrage	OBSERVATIONS
Fouilles de fondations	3m,95	1m3,80	
Maçonnerie ordinaire à mortier	2 ,585	1 ,035	
— de moellons épincés	1 ,185	0 ,765	
— de moellons piqués	0 ,125	»	Bandeaux des têtes.
— de pierre de taille	0 ,350	»	
— de libage	0 ,135	»	Garde-radier.
Parements vus de pierre de taille	3 ,25	»	
— de moellons piqués	0 ,56	»	
— de moellons épincés	6 ,26	3 ,11	
Rejointoiement de parements de taille	3 ,25	»	
— de moellons	6 ,82	3 ,11	
Chape en mortier de 0,06 d'épaisseur	0 ,50	1 ,90	
Cintres	»	»	Pour les aqueducs au-dessous de 1 mètre, les cintres sont compris dans les frais généraux.

Tableau des aqueducs de 0m,70

Au piquet 145 + 60	2 têtes	Longueur entre les têtes	10m,40
— 167 + 80	2		8 40
— 180	2		9 40
— 199 + 12,50	2		22 40
Nombre de têtes	8	Longueur totale	50m,60

Métré collectif des aqueducs précédents

NATURE D'OUVRAGE	CUBES PARTIELS		CUBES TOTAUX
Fouilles de fondations.....	8 × 3m,95 +	(50m,60 × 1m,80) =	122m3,68
Maçonnerie de moellons à mortier..	8 × 2 ,585 +	(50 ,60 × 1 ,035) =	73 ,16
— — épincés ...	8 × 1 ,185 +	(50 ,60 × 0 ,765) =	48 ,19
— — piqués	8 × 0 ,125 =	.....	1 ,00
— de pierre de taille....	8 × 0 ,350 =	.....	2 ,80
— de libage.....	8 × 0 ,135 =	.....	1 ,08
Parements vus de pierre de taille..	8 × 3 ,25 =	.....	surf. 26m2,00
— moellons piqués.	8 × 0 ,56 =	.....	— 4 ,48
— — épincés.	8 × 6 ,26 +	(50m,60 × 3 ,11) =	— 207 ,45
Rejointoiement de parements de taille.....	8 × 3 ,25 =	.....	— 26 ,00
Rejointoiement de parements de moellons.....	8 × 6 ,82 +	(50m,60 × 3 ,11) =	— 211 ,93
Chape en mortier de 0m,06 d'épaisseur.....	8 × 0 ,50 +	(50m,60 × 1 ,90) =	100m3,14

Prix de revient de quelques ouvrages. — Le tableau ci-après indique le prix de revient de quelques ouvrages courants de chaque type dans des conditions ordinaires :

OUVERTURE DES OUVRAGES	PRIX MOYEN par tête d'ouvrage	PRIX MOYEN par mètre courant du corps de l'ouvrage	PRIX MOYEN pour une longueur normale de 9m,60 (2 têtes de 0m,60 = 1m,20
1° *Ouvrages sous les chemins latéraux*			
			francs
Aqueduc dallé de 0m,40.....	»	»	250
— 0 ,50.....	»	»	400
— 0 ,60.....	»	»	650
— 0 ,70.....	»	»	850
2° *Ouvrages sous la voie*			
	francs	francs	francs
Aqueduc voûté de 0m,60.....	180	65	8m,40 × 65 + (2 × 180) = 900
— 0 70.....	210	70	8 ,40 × 70 + (2 × 210) = 1.000
Aqueduc-plancher de 0m,70...			
Aqueduc voûté de 1 mètre...	250	85	8 ,40 × 85 + (2 × 250) = 1.200
Aq. voûté double de 1 mètre.	335	175	8 ,40 × 175 + (2 × 335) = 2.140
Ponceau voûté de 1m,50.....	520	170	8 ,40 × 170 + (2 × 520) = 2.450
— 2 mètres....	725	210	8 ,40 × 210 + (2 × 725) = 3.200
— 3 —	1.580	355	8 ,40 × 355 + (2 × 1.580) = 6.160
Pont métallique de 2 mètres.	»	»	maçonneries. 1.630) moyenne 3.000 tablier..... 1.370)
— 3 —	»	»	maçonneries. 2.750) — 5.000 tablier..... 2.250)
Pont voûté de 4 mètres.....	»	»	mètre courant 750 — 7.000
Pont métallique de 4 mètres..	»	»	maçonneries. 3.800) — 6.500 tablier..... 2.700)
Pont voûté de 5 mètres.....	»	»	mètre courant 1.100 — 10.500
Pont métallique de 5 mètres..	»	»	maçonneries. 5.015) — 8.650 tablier..... 3.635)
Pont voûté de 6 mètres.....	»	»	mètre courant 1.500 — 15.000
Pont métallique de 6 mètres..	»	»	maçonneries. 6.347) — 11.000 tablier..... 4.639)
Pont voûté de 7 mètres.....	»	»	mètre courant 2.100 — 21.000
Pont métallique de 7 mètres..	»	»	maçonneries. 7.950) — 14.500 tablier..... 6.549)
Pont voûté de 8 mètres.....	»	»	mètre courant 2.900 — 28.000
Pont métallique de 8 mètres..	»	»	maçonneries. 8.100) — 15.000 tablier..... 6.900)
— 10 — ..	»	»	maçonneries. 10.140) — 19.500 tablier..... 9.358)
— 12 — ..	»	»	maçonneries. 12.600) — 24.000 tablier..... 11.400)
— 15 — ..	»	»	maçonneries. 14.300) — 30.000 tablier..... 15.700)
— 20 — ..	»	»	maçonneries. 16.100) — 50.000 tablier..... 33.900)
— 25 — ..	»	»	maçonneries. 18.000) — 70.000 tablier..... 52.000)

§ 2. — Ouvrages pour le maintien des communications

La rencontre ou la traversée des routes et chemins par une ligne de chemin de fer peut avoir lieu de trois façons différentes, par rapport à la situation du chemin de fer et donne lieu, par conséquent, à trois natures d'ouvrages :

Passages inférieurs, quand la route ou le chemin passent par-dessous le chemin de fer ;

Passages supérieurs, quand la route passe par-dessus le chemin de fer ;

Passages à niveau, quand la traversée se fait au niveau des rails.

PASSAGES INFÉRIEURS

Aux conditions que nous avons indiquées plus haut pour les ouvrages nécessaires à l'écoulement des eaux (qui sont eux-mêmes des passages inférieurs), ceux-ci doivent, en outre, satisfaire à la clause stipulée par l'article 11 du Cahier des Charges, ainsi conçu :

« Lorsque le chemin devra passer au-dessus d'une route nationale ou départementale, ou d'un chemin vicinal, l'ouverture du viaduc sera fixée par l'Administration, en tenant compte des circonstances locales ; mais cette ouverture ne pourra dans aucun cas être inférieure à :

8 mètres pour une route nationale ;
7 — — — départementale ;
5 mètres pour un chemin de grande communication ;
4 mètres pour un simple chemin vicinal.

« Pour les viaducs de forme cintrée, la hauteur sous clef à partir du sol de la route sera de 5 mètres au moins ; pour ceux qui seront formés de poutres horizontales en bois ou en fer la hauteur sous poutre sera de $4^{m},30$ au moins. »

Ponts en maçonneries. — Ce sont ces dimensions qui sont généralement adoptées dans la pratique ; on comprend qu'elles doivent donner lieu à des sujétions et à des modifi-

cations du profil des chemins aux abords. Appliquant ces dispositions à la traversée d'un chemin ordinaire, c'est-à-dire à un pont de 4 mètres en maçonnerie, on trouve que la forme la plus ordinaire est la voûte en plein cintre. L'ouverture de 4 mètres donne une flèche ou montée de voûte de 2 mètres; la hauteur sous clef devant être de 5 mètres, on a une hauteur de piédroits de 3 mètres. Si on applique les formules d'épaisseurs à la construction de cet ouvrage, on a une voûte de 0m,50 : une chape de 0m,10 la recouvrant et, enfin, la couche de ballast de 0m,50, comme l'indique le croquis (*fig.* 94), ce qui donne une hauteur totale de 6m,10 entre la chaussée et le niveau du rail, savoir :

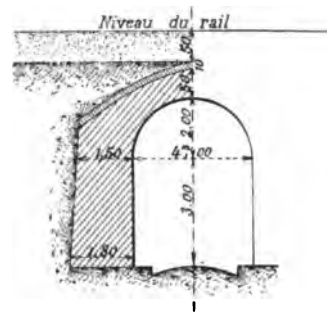


Fig. 94.

Piédroits	3m,00
Voûte, montée	2 ,00
Maçonnerie	0 ,50
Chape	0 ,10
Ballast	0 ,50
Total	6m,10

Bien que l'étude de la ligne rouge du profil en long d'un chemin de fer ait été faite en conséquence, de manière à ne pas trop modifier l'état des routes et chemins traversés, il est rare que la hauteur ci-dessus puisse être obtenue sans un abaissement du niveau de la chaussée du chemin ou de la route.

Si on dispose d'une différence de dénivellation plus grande que celle ci-dessus, on peut, selon les circonstances, surélever le type sur ses piédroits, l'allonger sous les remblais, ou encore, si cela est possible, recourir au type à culées per-

dues, comme on l'a dit précédemment pour les ouvrages sur cours d'eau.

Poutres métalliques. — Si, au contraire, et c'est le cas le plus ordinaire, la hauteur dont on dispose est inférieure à 6m,10, on abandonne le type voûté pour le remplacer par le type à poutres métalliques, la hauteur exigée n'étant plus que de 4m,30, au lieu de 5 mètres. Pour un pont de 4 mètres une poutre de 0m,42 suffit (*fig.* 95) (une poutre semblable peut résister à la charge réglementaire par millimètre carré). La longrine supportant le rail a, y compris celui-ci, une hauteur d'environ 0m,38, ce qui donne en tout :

Poutres métalliques

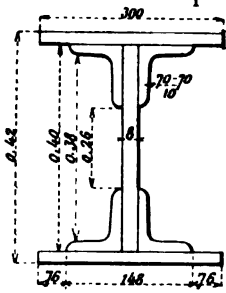


Fig. 95.

Sous poutre.....	4m,30
Poutre.....	0 ,42
Longrine et rail.....	0 ,38
Total.....	5m,10

C'est, on le voit, 1 mètre de gagné sur le type normal.

Poutres jumelles. — Si cette réduction ne suffit pas encore,

Poutres jumelles

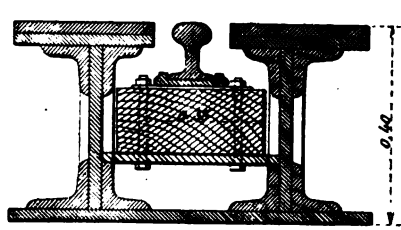


Fig. 96.

on emploie alors un type spécial dit à *poutres jumelles* (*fig.* 96).

Ce type consiste, comme l'indique son nom, en deux poutres assemblées entre lesquelles on place la longrine supportant chaque file de rails ; on obtient ainsi :

Hauteur sous poutre.....	4m,30
Poutre.....	0 ,40
En tout.....	4m,70

soit 1m,40 de gagné sur le type normal. C'est la plus grande réduction qu'on puisse obtenir.

Les diverses conditions d'application du type de 4 mètres qu'on vient d'examiner peuvent se représenter pour les passages inférieurs de 5, 7 et 8 mètres, avec la seule différence de l'augmentation des dimensions nécessaires pour satisfaire aux conditions de stabilité de ces ouvrages.

Prix de revient de quelques passages inférieurs. — On ne peut donner ici que des indications sommaires sur l'adaptation de tel ou tel type, suivant les circonstances et les cas qui peuvent se présenter : ceux-ci sont trop variés pour être appuyés d'un exemple. On trouvera ci-dessous les prix de revient pouvant être admis dans la rédaction d'un avant-projet pour les cas ordinaires, sans trop de chance d'erreur.

	francs
Passages inférieurs de 4 mètres en maçonnerie.....	12.000
— 4 — avec poutres métalliques.	11.500
— 5 — en maçonnerie.....	17.500
— 5 — avec poutres métalliques.	15.500
— 7 — en maçonnerie.....	21.000
— 7 — avec poutres métalliques.	20.000
— 8 — en maçonnerie.....	26.000
— 8 — avec poutres métalliques.	25.000

Ces prix, qui s'appliquent à des lignes à double voie, ne sont, bien entendu, que des moyennes pouvant varier dans de certaines limites, suivant les circonstances et les localités ; pour un chemin de fer à voie unique les prix ci-dessus peuvent être réduits de 1/3 environ, la moyenne des longueurs entre les têtes de ces ouvrages étant ordinairement dans le rapport

de 8m,40 à 5m,60, suivant qu'ils sont construits pour une ou pour deux voies.

PASSAGES SUPÉRIEURS

L'article 32 du Cahier des Charges porte que :

« L'ouverture de ces ouvrages entre les culées sera au moins de 8 mètres, et la distance verticale ménagée au-dessus des rails extérieurs de chaque voie pour le passage des trains ne sera pas inférieure à 4m,80 (*fig.* 97). »

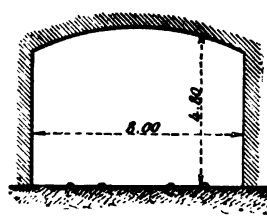


FIG. 97.

Pour les sections à voie unique la largeur exigée entre les culées est réduite à 4m,50.

Sur une ligne à double voie la largeur entre les rails extérieurs, y compris une entrevoie de 2 mètres, est de 5m,14. L'ouverture du pont entre les culées étant de 8 mètres, il reste, de chaque côté, un espace libre de $\frac{8 - 5,14}{2} = 1^m,43$, supérieur à la moitié de l'entrevoie, mais nécessaire pour les saillies accidentelles que peut présenter un train en marche, telles que l'ouverture des portières par les agents du contrôle des trains, la circulation ou les mouvements du mécanicien se penchant à l'extérieur de sa machine.

L'ouverture de 8 mètres et la hauteur de 4m,80 du rail extérieur à la route sont à peu près les seules conditions mportantes de l'établissement des passages supérieurs. Elles peuvent, d'ailleurs, être obtenues de différentes manières.

On comprend, d'après cela, que la forme à plein cintre est beaucoup moins avantageuse que l'arc de cercle surbaissé, si on est limité par la cote d'altitude de la chaussée du chemin traversé.

Sur une ligne à deux voies, que l'on emploie la voûte en anse de panier ou l'arc de cercle, il faut compter une hau-

teur sous clef de $5^m,30$ environ pour obtenir $4^m,80$ sur le rail extérieur :

Soit.....	$5^m,30$
Épaisseur des maçonneries de la voûte et chape.	0 ,90
Chaussée.....	0 ,50
Distance du rail à la chaussée.....	$6^m,70$

Sur une ligne à voie unique une hauteur sous clef de 5 mètres seulement donne, pour un pont en maçonnerie, $4^m,80$ au-dessus du rail extérieur, et exige une hauteur totale de $6^m,40$, soit $0^m,30$ de gagné sur la cote donnée ci-dessus.

Type à culées perdues. — C'est donc surtout dans ce cas que le type à culées perdues trouve son application dans des conditions tout à fait avantageuses et qu'il est plus spécialement employé.

En effet, la partie inférieure d'une tranchée offre fort souvent un terrain résistant propre à recevoir les fondations qu'on n'est pas obligé, dans ce cas, de descendre en dessous du niveau de la plateforme et qui se fait souvent un peu en contre-bas du point même où la culée se noie dans le massif des talus. L'ouvrage se réduit dans ce cas à sa partie apparente entre ces talus.

En plaçant la clef à $5^m,10$ du rail, on obtient la cote de $4^m,80$ au-dessus du rail extérieur, comme l'indique le croquis ci-après (*fig.* 98) qui donne :

Au-dessous des naissances.....	$1^m,90$
Flèche ou montée de la voûte.....	3 ,20
Épaisseur des maçonneries.....	1 ,00
Chaussée.....	0 ,50
Distance totale de la chaussée au-dessus du rail.	$6^m,60$

Cette hauteur est encore un peu plus réduite que celle obtenue par l'emploi des voûtes en arc de cercle; c'est ce qui explique la préférence accordée à ce type qui est généralement d'un usage très suivi.

Ce type a, de plus, un avantage énorme : c'est de conserver à la tranchée son profil normal et de dégager parfaitement la visibilité de la voie, condition très importante pour les mécaniciens et qui leur permet de mieux apercevoir les signaux.

Type à culées perdues

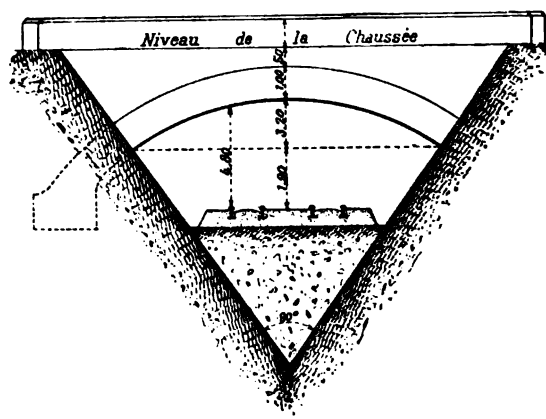


Fig. 98.

On prend généralement pour centre de la courbe d'intrados le point de rencontre des deux talus que l'on suppose réglés à 45° ; de cette façon l'arche embrasse un angle de 90° par sa retombée sur les talus et offre ainsi un aspect agréable à l'œil.

Les croisements de chemins ne se font pas toujours à volonté et exactement à la hauteur indiquée ci-dessus, et il arrive souvent qu'on est obligé de les effectuer à une cote au-dessus du rail plus petite ou plus grande que celle indiquée par les types que nous avons décrits.

Quand la hauteur dont on dispose est plus petite que celle du type, on a recours, comme précédemment, à l'emploi des poutres métalliques; mais la réduction qu'on obtient ici est moins importante que pour les passages inférieurs, car pour

Passage supérieur de 16m,00 d'ouverture avec poutres métalliques.

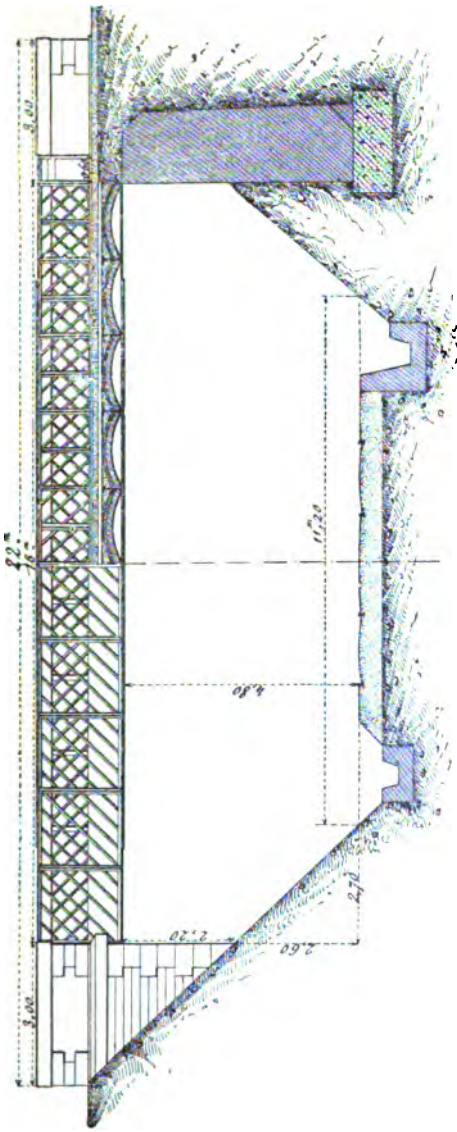


PLANCHE A.

un pont de 8 mètres, il faut, à la hauteur de 4m,80 sur rails, ajouter celle de la poutre qui n'est pas moindre de 0m,50 et celle du tablier ou de la chaussée, ce qui donne au minimum 5m,70.

Passage supérieur de 16 mètres d'ouverture avec poutres métalliques. — A la Compagnie d'Orléans et à la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, on emploie beaucoup un type de pont de 16 mètres d'ouverture entre les culées avec poutres métalliques et voûtes en briques soutenant la chaussée. La planche A ci-avant donne les principales dispositions de ce type, qui permet de laisser à la tranchée son profil normal.

La longueur entre les têtes des passages supérieurs dépend de l'importance du chemin traversé ; on adopte les mêmes dimensions que pour les passages inférieurs, c'est-à-dire :

8 mètres pour les routes nationales ;
7 — — — départementales ;
5 — — chemins de grande communication ;
4 — — — vicinaux ordinaires.

Prix de revient de quelques passages supérieurs. — Les prix moyens des ouvrages de l'un quelconque des types ci-dessus, dans des conditions ordinaires, sont à peu près les suivants pour une ligne à deux voies :

	francs
Pour un chemin vicinal ordinaire de 4 mètres de largeur et 8 mètres entre culées	10.000
Pour un chemin vicinal ordinaire de 4 mètres et 16 mètres entre culées	19.000
Pour un chemin de grande communication de 5 mètres et 8 mètres entre culées	13.500
Pour un chemin de grande communication de 5 mètres et 16 mètres entre culées	26.000
Pour une route départementale de 7 mètres et 8 mètres entre culées	16.000
Pour une route départementale de 7 mètres et 16 mètres entre culées	29.000
Pour une route nationale de 8 mètres et 8 mètres entre culées	20.000
Pour une route nationale de 8 mètres et 16 mètres entre culées	33.000

Pour un chemin de fer à voie unique, ces chiffres seraient réduits de 1/3 à 1/4 environ, soit 7.000, 14.000, 10.500, 20.000, 12.000, 22.000, 13.500, 25.000 francs.

Quand on dispose d'une hauteur supérieure à celle des types que nous venons de décrire, on emploie le plein cintre. Mais alors, comme l'évasement des talus accroît rapidement la longueur de la traversée et conduit vite à des ouvertures qu'il n'est pas possible de franchir avec une seule portée, on arrive ainsi à un véritable viaduc à plusieurs arches, constituant un ouvrage exceptionnel dont la dépense augmente avec l'élévation. On a parfois intérêt à éviter ces traversées à hauteur, au moyen d'une déviation du chemin aux abords du chemin de fer.

PASSAGES A NIVEAU

L'établissement des passages à niveau doit satisfaire à deux conditions essentielles :

1° Assurer la circulation des voitures à travers la voie en faisant disparaître la saillie des rails;

2° Assurer le passage des trains à travers la chaussée.

Cette dernière condition s'obtient en ménageant entre le rail et la chaussée, au moyen d'un contre-rail, un espace suffisant pour le passage du rebord saillant des roues des vagons. Ce rebord ou boudin a ordinairement une épaisseur de $0^m,03$, et il convient de lui laisser un certain jeu; c'est pourquoi on règle généralement à $0^m,055$ l'écartement du rail et du contre-rail, ce qui ne gêne en rien la circulation des voitures sur la voie.

Pour réaliser la première condition, on arase la chaussée à l'affleurement du champignon supérieur du rail. On pave quelquefois la surface comprise entre les files de rails sur une largeur débordant de $0^m,50$ de chaque côté, sur la largeur du passage, et jusqu'à 1 mètre en dehors du rail extrême de chaque voie. Ainsi, la voie ayant $1^m,57$, un passage à niveau droit de 4 mètres pour une seule voie sera pavé sur une largeur de 5 mètres et une longueur de $3^m,60$ au moins, avec 1 mètre de chaque côté de la voie.

Le plus souvent, même pour les passages importants, on se contente d'un simple empierrement. Ce moyen, moins coûteux, est cependant d'un entretien plus incommode et plus imparfait que le premier, car sur un espace aussi restreint la chaussée fait prise plus difficilement; les pierres roulantes sont à chaque instant poussées entre le rail et le contre-rail et viennent obstruer le passage réservé au boudin des roues des vagons.

Les contre-rails se composent généralement de rails de 6 mètres et de 4 mètres, afin qu'il n'y ait pas de coupons. Ils dépassent ordinairement le pavage ou l'empierrement de 1 mètre du côté du portillon, et on les évase à chaque extrémité, de manière à faciliter l'introduction du rebord de la roue entre le rail et le contre rail, ce qu'on appelle, en terme de pose, lui faire une entrée.

Établissement des barrières. — Les passages à niveau sont munis de barrières qui servent à en ouvrir ou à en fermer l'accès au public, selon qu'on peut ou non traverser la voie sans danger, avant ou après le passage des trains.

Ces barrières sont, le plus souvent, manœuvrées par un garde spécial, constamment à la disposition du public, et qui est logé, à cet effet, dans une petite maisonnette, dite *maison de garde*, construite à proximité du passage. Le mouvement des barrières, pour l'ouverture ou la fermeture, se fait soit par roulement longitudinal, soit par rotation autour d'un pivot ou axe vertical. De là deux systèmes de barrières : les barrières *roulantes* et les barrières *tournantes*.

Barrières roulantes. — Ces barrières, dont le nom seul indique la disposition, se composent d'un cadre en treillis en fer (dont les montants sont généralement formés de vieux rails) supporté par des galets de $0^m,50$ à $0^m,60$ de diamètre, roulant sur une petite voie de fer appelée *voie* ou *chemin de roulement*, établie parallèlement à l'axe de la ligne (*fig.* 99). Elles se meuvent par déplacement longitudinal en prolongement de leur direction. Elles demandent, pour leur voie, un entretien soigné et sont elles-mêmes plus coûteuses que les autres barrières; mais elles conviennent surtout lorsqu'on

manque de place pour développer la rotation, et aussi dans les passages biais d'une certaine importance, comme dans les agglomérations de maisons ou les traversées de villages, hameaux, etc. On en voit rarement en pleine voie.

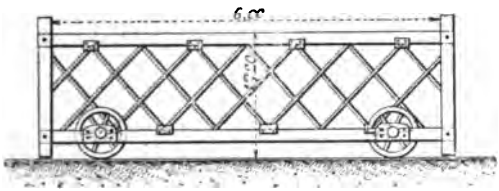


Fig. 99.

Le prix d'une barrière roulante de 6 mètres, compris chemin de roulement en rails assemblés avec portillon, est de 700 à 750 francs.

Barrières à contrepoids manœuvrées à distance. — Depuis

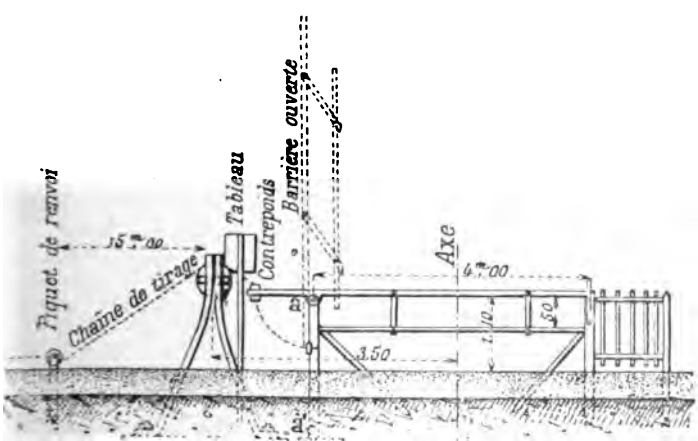


Fig. 100.

quelque temps, on fait aussi usage d'un genre de barrières, dites *barrières à contrepoids manœuvrées à distance* (*fig.* 100),

mais uniquement à la rencontre des chemins ruraux ou vicinaux de peu d'importance. Ces barrières se meuvent en bascule dans un plan vertical, au moyen d'un treuil, avec chaîne de transmission, établi près de la maison de garde du passage à niveau le plus voisin. Elles sont généralement placées parallèlement au chemin de fer et à une distance minimum de $2^{m},25$ de l'axe de la voie la plus voisine.

Elles se composent, comme l'indique le croquis précédent, d'un parallélogramme formé d'une lisse et d'une sous-lisse en bois réunies au moyen d'un assemblage articulé.

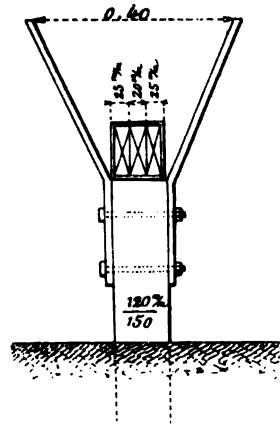


Fig. 101.

La lisse est mobile autour d'un axe *a*, fixé au poteau *aa'*; elle est munie d'un contrepoids de 49 kilogrammes, formé de deux rognures de rails assemblés et qui maintient la barrière ouverte, de sorte que pour la fermer on n'a qu'à tirer sur la chaîne. Cette lisse est formée de deux parties de 120 millimètres sur 12 millimètres, assemblées par une fourrure de 20 millimètres; son extrémité vient s'appuyer sur le poteau du portillon entre deux bandes de fer fixées à ce poteau et disposées en V (*fig.* 101), afin de maintenir la barrière et d'empêcher tout déplacement par un mouvement latéral.

Près du support de l'appareil compensateur se trouve un poteau muni d'un timbre et d'un bouton de tirage en communication avec la maison du garde chargé de la manœuvre de la barrière. A ce poteau est, en outre, adapté un tableau portant cette inscription en lettres très apparentes : « *La fermeture de la barrière est annoncée par la sonnerie du timbre. Il est interdit aux voitures de s'engager sur la voie quand le timbre sonne. Poussez le bouton du timbre pour demander l'ouverture de la barrière quand elle est fermée.* »

Le prix de ces passages à niveau qui ont généralement

4 mètres de largeur est d'environ 1.000 francs, savoir:

	francs
2 barrières et 2 portillons.....	450
Chaînes, poulies de transmission, appareils régulateurs et compensateurs, poteaux, etc...	350
Contre-rails, pose et divers.....	200
Total.....	1.000

Barrières tournantes. — Les barrières tournantes sont plus communément employées, aussi nous nous en occuperons ici d'une manière un peu plus détaillée.

Elles sont généralement établies normalement à l'axe du chemin traversé et non, comme les précédentes, parallèlement au chemin de fer. Cette dernière disposition adoptée exceptionnellement, en augmentant leur longueur, exige pour leur rotation un plus grand espace, surtout dans les traversées obliques. Elles sont toujours ou presque toujours à deux vantaux d'égale longueur.

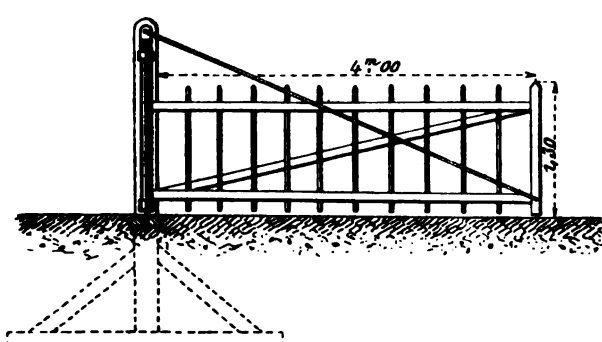


Fig. 102.

Néanmoins, dans certains réseaux, on fait quelquefois usage de barrières de 4 mètres en un seul vantail (*fig.* 102); mais elles sont moins solides, et cette disposition, obligeant à éloigner de la voie l'axe de rotation, allonge l'espace réservé entre les barrières de chaque côté, ce qui présente des incon-

vénients, surtout dans les pays accidentés où l'emplacement des passages à niveau est généralement restreint.

Au réseau Paris-Lyon-Méditerranée, ces barrières sont à peu près toujours faites à deux vantaux.

Chaque vantail se compose d'un poteau fixe contrebouté, encastré dans un massif de fondation en maçonnerie, auquel sont adaptés des gonds, et d'une partie mobile ordinairement en bois, tournant sur ces gonds en porte-à-faux, mais soutenue par un tendeur en fer reliant son extrémité à la partie supérieure du poteau tourillon.

Ces poteaux sont construits ordinairement avec des débris de vieux rails : deux tronçons jumelés recourbés à leur extrémité inférieure (*fig.* 103) et fixés à une plaque en tôle de 0m,80

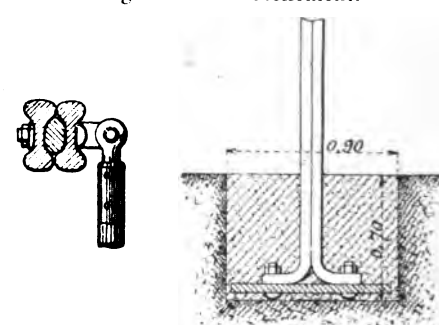


Fig. 103.

sur 0m,50, ce qui augmente beaucoup la stabilité et rend tout mouvement impossible. On obtient ainsi des conditions de solidité et de durée plus avantageuses qu'avec les barrières entièrement en bois.

La Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée étudie actuellement un type de barrières entièrement métalliques à substituer aux barrières en bois, comme celles qui sont employées aux réseaux d'Orléans et de l'État.

A chaque barrière est accolé un portillon de 0m,70 à 1 mètre, pour le passage des piétons (0m,70 au Paris-Lyon-Mé-

diterranée, et 0m,80 à l'Orléans). Ce portillon est, autant que possible, placé du côté de la maison du garde ; il est constamment libre et est manœuvré par les passants eux-mêmes. Il doit être disposé de manière à fermer le passage aux animaux qui pourraient s'introduire sur la voie ; on l'ouvre, à cet effet, du dedans au dehors du chemin de fer ; il est ajusté de façon à se refermer de lui-même en retombant sur son appui.

Les barrières sont toujours établies au niveau moyen du rail et à environ 0m,07 au-dessus du niveau de la chaussée du chemin traversé, afin que les rechargements n'en gênent pas le mouvement; elles s'ouvrent généralement sur la voie sans y former clôture. Dans ce cas, les poteaux tourillons sont placés de manière que l'extrémité de chaque vantail, dans son mouvement de rotation, se trouve toujours à 1m,50 environ du bord extérieur du rail le plus voisin.

Ce système présente peut-être l'inconvénient de céder à une poussée extérieure et de permettre ainsi, quand elles sont mal fermées, l'introduction sur la voie de véhicules ou d'animaux pouvant occasionner des accidents au moment du passage d'un train.

Dans certains réseaux, on fait ouvrir les barrières en dehors, c'est-à-dire à l'extérieur du chemin de fer. Cette disposition diminue un peu la distance entre les barrières qui peuvent ainsi être plus rapprochées des voies ; mais elle a l'inconvénient, assez gênant du reste, de faire reculer les voitures ou les bestiaux qui se sont un peu trop rapprochés du chemin de fer, ce qui n'est pas toujours facile, surtout en pays de montagne, avec les rampes adoptées aux abords des passages.

L'un et l'autre système ont donc leurs inconvénients et leurs avantages. Au réseau Paris-Lyon-Méditerranée toutes les barrières s'ouvrent du côté de la voie.

On voit, d'après cela, que pour les traversées obliques, ou passages à niveau biais, il est nécessaire, pour l'implantation des barrières, de déterminer d'une manière assez exacte, pour tous les angles de croisement, la distance entre les axes de ces barrières qui constitue la *longueur des passages à niveau*. C'est même important au point de vue de l'établissement du profil en long du chemin traversé, surtout en pays de montagnes.

En effet, dans les terrains accidentés, présentant de fortes déclivités, la traversée du passage à niveau se faisant généralement en palier (l'axe de chaque barrière étant le point de départ d'une pente ou d'une rampe), on est obligé souvent, pour établir le profil de la déviation ou de la rectification du chemin, de ménager l'espace et de réduire ce palier à sa longueur minimum; cette longueur doit donc être calculée dans chaque cas et pour chaque angle de traversée.

C'est pour éviter ces calculs, qui peuvent être faits parfois avec des éléments divers, qu'ont été réunis dans une table (page 225) les renseignements relatifs aux biais compris entre 45 et 90°, de 5 en 5°, pour toutes les largeurs de passages à niveau usitées le plus ordinairement sur les chemins de fer à une ou deux voies. Quand un angle trouvé dépasse 90°, comme par exemple l'angle de 115° ci-dessous, pour se servir de la table on prend l'angle supplémentaire, soit 65°.

Les longueurs des passages à niveau correspondant aux biais intermédiaires à ceux du tableau s'obtiennent par interpolation avec assez d'exactitude.

Angle de croisement. — L'angle de croisement n'est jamais inférieur à 45°; c'est la limite admise généralement par les cahiers des charges des compagnies.

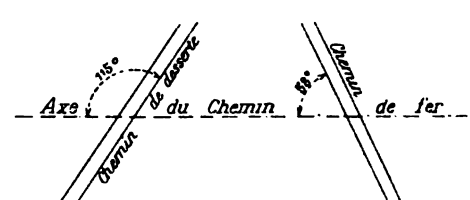


FIG. 104.

Selon que le tracé rencontre un chemin normalement ou suivant un angle donné, les passages à niveau sont dits: *passages à niveau droits* ou *passages à niveau biais.*

Le biais s'énonce et s'indique toujours au plan par l'angle à gauche de l'axe (*fig.* 104); c'est même un moyen de reconnaître la direction d'un chemin rien qu'à l'énoncé de l'angle

du biais. Ce biais est toujours indiqué en nombre rond de degrés.

Largeur des passages à niveau. — La largeur des passages à niveau, ou longueur des barrières, varie selon l'importance des chemins rencontrés ; elle est ordinairement de :

4 mètres pour les chemins vicinaux, ruraux et dessertes de propriété ;

6 mètres pour les routes nationales, départementales, chemins de grande et moyenne communication ;

8 mètres pour les passages très fréquentés, comme aux abords des villages ou des gares ;

10 mètres exceptionnellement [1].

La Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée n'a que deux types de barrières tournantes : 4 et 6 mètres ; pour les autres cas, elle emploie de préférence les barrières roulantes.

Comme on peut s'en rendre compte par les croquis ci-après, la longueur entre les axes des barrières dépend de la largeur des passages à niveau et de l'angle du biais du chemin traversé.

Voici les deux cas qui peuvent se présenter :

1° Traversée *droite* pour une ou deux voies ;

2° Traversée *oblique* pour une ou deux voies.

Premier cas. — *Traversée droite pour une voie.* — Soit, par exemple, un passage à niveau droit de 4 mètres de largeur dont on veut déterminer la longueur entre les barrières (*fig.* 105).

Comme on admet que l'extrémité d'un vantail ouvert doit être au moins à $1^m,50$ du bord extérieur du rail le plus voisin, on aura pour un côté de la voie :

Demi-barrière ou un vantail.....		$2^m,000$
Distance normale au bord du rail.....	$1^m,50$	$2^m,285$
Demi-voie ou $\frac{1^m,57}{2}$	$0^m,785$	
Soit pour un côté.....		$4^m,285$

[1] Ces dimensions n'ont rien d'absolument rigoureux quant à la nature des chemins et sont commandées plutôt par l'importance de la circulation.

Les barrières étant placées symétriquement, on a pour les deux côtés : $4^m,00 + 4^m,57 = 8^m,57$. Soit, en nombre rond, $8^m,60$ pour l'exécution.

On voit donc que la longueur d'un passage à niveau (lon-

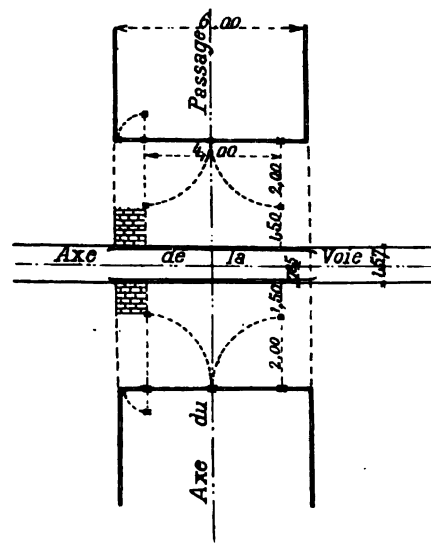


Fig. 105.

gueur entre barrières) pour une traversée droite d'un chemin de fer à une voie est égale à la longueur d'une barrière de 4, 6 ou 8 mètres, plus une quantité constante qui est $4^m,57$.

Traversée droite pour deux voies. — Pour une ligne à deux voies on aura de même :

Un vantail.....		$2^m,00$
Distance normale au rail.....	$1^m,50$	
Une voie.....	1 ,57	4 ,12
Demi-entrevoie $\left(\frac{2^m,10}{2}\right)$.....	1 ,05	
Soit pour un côté.....		$6^m,12$

Les barrières étant placées symétriquement, on a pour les deux côtés : $4^m,00 + 8^m,24 = 12^m,24$. Soit, en nombre rond, $12^m,20$.

Comme on le voit, la longueur d'un passage à niveau pour une traversée droite d'un chemin de fer à deux voies est égale à la longueur d'une barrière de 4, 6, 8 mètres, plus une quantité constante qui est de $8^m,24$, soit une largeur de voie et l'entrevoie en plus que précédemment ($3^m,67$).

Dans le réseau Paris-Lyon-Méditerranée, sur les lignes secondaires, cette constante est de $8^m,14$, car on ne donne généralement que 2 mètres à l'entrevoie, ce qui fait $3^m,57$ d'axe en axe des deux voies.

On remarquera, en outre, que la distance de $1^m,50$ de la barrière au bord du rail doit être augmentée quand un aqueduc se trouve en dedans d'une barrière de 4 mètres, afin d'éviter que les semelles ou contreforts des poteaux ne rencontrent la maçonnerie des piédroits de cet aqueduc. Cette augmentation est habituellement de $0^m,25$.

Deuxième cas. — *Traversée oblique pour une voie.* — Soit un passage à niveau de 4 mètres biais à 61° (*fig.* 106) ci-après ; il s'agit de déterminer la longueur l entre les axes des barrières. On connaît la longueur d'un vantail de chaque côté ; il reste à trouver la distance intermédiaire x qui se compose elle-même des longueurs x' et x' que l'on peut trouver, puisque l'on connaît les éléments nécessaires à la résolution des triangles rectangles qui les renferment. Ces trois triangles sont semblables et ont chacun un angle aigu qui est le complément de l'angle du biais ($\alpha = 61°$) ; on connaît de plus un côté de l'angle droit qui est 2 mètres (ou un vantail dans chacun des petits triangles), et $4^m,57$ (deux fois $2^m,285$) dans le grand triangle ; on aura donc les valeurs de x' et de x'' en résolvant ces triangles.

Pour généraliser cet exemple, on cherchera le rapport du biais, c'est-à-dire le rapport des côtés inconnus x' et x'' aux côtés connus pris pour unité ; on multipliera ensuite ces rapports par les côtés connus, et on aura les valeurs de x' et de x''.

Dans le grand triangle, c'est le rapport de l'hypoténuse au

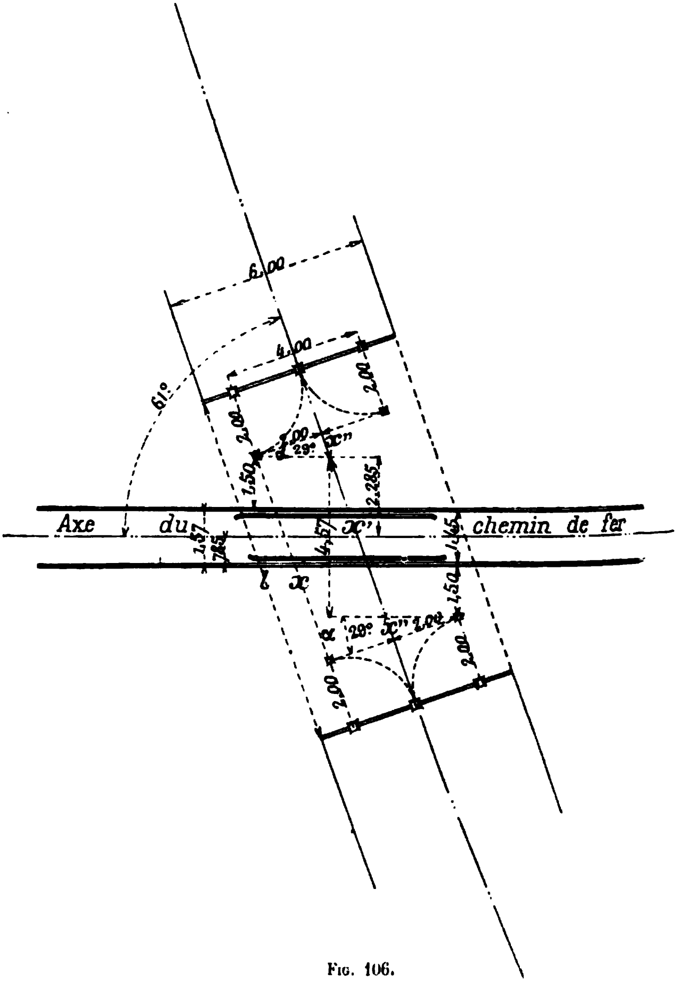

6,00
4,00
2,00
61°
2,00
2,00
29°
1,50
2,285
Axe du chemin de fer
1,57
785
4,57
1,65
1,50
29°
2,00
2,00
2,00

Fig. 106.

grand côté de l'angle droit (4m,57) ; on aura donc :

$$x' = \frac{1}{\sin 61^\circ} \times 4^m,57$$

log. 1 = 0,0000000
moins log. sin 61° = 9,9418193

Reste..... 0,0581807

correspondant à..... 1m,1434
qui, multiplié par 4m,57, donne pour x'..... 5 ,225

Pour les petits triangles, c'est le rapport du petit côté de l'angle droit au côté connu, 2 mètres (ou un vantail) ; on aura donc :

$$x'' = \text{cotg } 61^\circ \times 2$$

log. 1..... 0,0000000
+ log. cotg 61° ou tg 29°.... 9,7437520

$\bar{1}$,7437520

correspondant à..... 0m,5543
qui, multiplié par 2, donne pour x''..... 1m,1086 } 2 ,2172
et pour l'autre semblable..... 1 ,1086 }

La longueur totale cherchée sera donc :

Deux vantaux de 2 mètres (ou une barrière)..... 4m,000
4,57 × le rapport x' (1m,1434)..... 5 ,225
Deux fois 2m (ou une barrière) × le rapport x'' (0m,5543) 2 ,217

Longueur totale..... 11m,442
Soit en exécution..... 11m,50

Traversée oblique pour deux voies. — Dans ce cas, les rapports sont les mêmes que précédemment ; il n'y a que le grand côté du grand triangle rectangle qui devient 4m,57 (comme précédemment) + 3m,57, deuxième voie et entre-axe = 8m,14.

Pour un passage à niveau de 4 mètres, on aura donc :

$8{,}14 \times 1^{m},1434$	$9^{m},367$
Une barrière ou $4^{m},00 \times 0^{m},5543$	2 ,217
Une barrière de 4 mètres.....	4 ,000
Longueur totale.....	$15^{m},524$
Soit.....	$15^{m},60$

Comme on le voit, la longueur entre barrières pour un passage à niveau à deux voies est égale à :

La longueur pour une voie (trouvée ci-dessus).....	$11^{m},50$
Plus l'entre-axe $3^{m},57 \times$ le rapport du biais x ($1^{m},1434$)	4 ,08
Longueur pareille.....	$15^{m},58$
Soit.....	$15^{m},60$

En résumé, étant donné l'angle α du biais, si l'on cherche la largeur d'un passage à niveau de n mètres à une voie, on peut immédiatement l'obtenir par la formule :

$$(1) \quad n + \frac{4{,}57}{\sin \alpha} + n \times \operatorname{cotg} \alpha = n + \frac{4{,}57 + n \cos \alpha}{\sin \alpha}.$$

Dans le cas de la double voie, la formule (1) devient :

$$n + \frac{8{,}14}{\sin \alpha} + n \times \operatorname{cotg} \alpha = n + \frac{8{,}14 + n \cos \alpha}{\sin \alpha}.$$

Ces formules peuvent être calculées très rapidement à l'aide d'une table de lignes trigonométriques naturelles, ou par la règle à calcul qui donne, dans ce cas, une approximation suffisante.

Table donnant les longueurs des passages à niveau biais

ANGLE du biais (α)	RAPPORT DU BIAIS $\left(\frac{x'}{\frac{1}{\sin\alpha}}\right)$	RAPPORT DU BIAIS $(1 \times \operatorname{colg}\alpha)$	CHEMIN DE FER A UNE VOIE Passages à niveau de 4 mètres	6 mètres	8 mètres	CHEMIN DE FER A DEUX VOIES Passages à niveau de 4 mètres	6 mètres	8 mètres
degrés								
45	1,414	1,000	14,50	18,50	22,50	19,50	23,50	27,50
50	1,305	0,839	13,30	17,00	20,30	18,00	21,70	25,40
55	1,221	0,700	12,40	15,80	19,20	16,80	20,20	23,60
60	1,155	0,577	11,60	14,80	17,90	15,70	18,90	22,10
65	1,103	0,465	10,90	13,90	16,80	14,90	17,80	20,70
70	1,064	0,364	10,40	13,10	15,80	14,20	16,90	19,60
75	1,035	0,268	9,80	12,40	14,90	13,50	16,10	18,60
80	1,015	0,176	9,40	11,70	14,10	13,00	15,40	17,70
85	1,004	0,088	9,00	11,20	13,30	12,60	14,70	16,90
90	1,000	0,000	8,60	10,60	12,60	12,20	14,20	16,20

Les dimensions obtenues à l'aide de cette table sont des minima en-dessous desquels on ne peut descendre, mais qu'on peut toujours augmenter si les dispositions du terrain ou le profil du chemin rencontré le permettent. Nous ferons remarquer toutefois que, pour le réseau Paris-Lyon-Méditerranée (où l'entrevoie n'est que de 2 mètres sur la plupart des lignes secondaires), les dimensions données pour les passages à niveau à deux voies peuvent être considérées comme étant largement suffisantes, dans tous les cas, puisqu'elles ont toujours au moins de $0^m,05$ à $0^m,07$ de plus que les résultats qui seraient trouvés par le calcul direct.

Maisons de garde. — A chaque passage à niveau, suffisamment important pour justifier cette dépense, est établie une maisonnette destinée au logement du garde préposé à la surveillance et à la manœuvre des barrières. Cette construction, ordinairement des plus modestes, a 8 mètres de longueur sur 5 mètres de largeur et se compose généralement de deux pièces au rez-de-chaussée, d'une mansarde avec un petit grenier au premier étage et d'une petite cave. Un jardin, d'une contenance de 3 à 6 ares, formé ordinairement

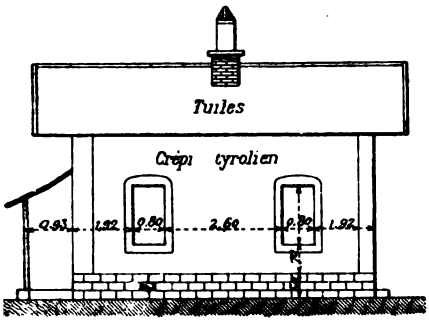
d'un excédent de parcelle, soit à côté de la maisonnette, soit à proximité, avec un puits, quelquefois un four et des cabinets d'aisances, constituent les dépendances de l'habitation d'un garde-barrière. Les cabinets sont placés tantôt dans un coin du jardin, tantôt comme appendice à la maison sur le pignon ou la façade opposée à la voie ; dans ce cas on y joint un petit bûcher dans lequel on place alors l'entrée de la descente de la cave. (Voir les détails de la maison, Planche B ci-contre.)

Ce type est celui de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. On trouvera Planche C (page 228) les principales dispositions d'ensemble pour un passage droit et un passage biais, et ci-après quelques explications sur l'adoption de ce type dans les principaux cas qui peuvent se présenter, soit pour un passage à niveau en remblai, soit pour un passage en déblai.

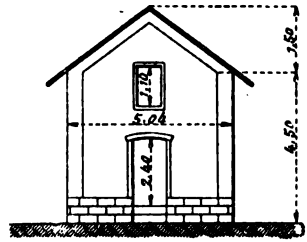
Implantation de la maison. — La maison est généralement établie à $6^{m},215$ de l'axe du chemin de fer, dans les lignes à une voie, et à 8 mètres ou $8^{m},05$ dans les lignes à deux voies, suivant que l'entrevoie a 2 mètres ou $2^{m},10$. Sur les lignes construites à une voie et qui peuvent être portées ultérieurement à deux voies (et il y a lieu de tenir compte de cette prévision), on met, autant que possible, la maison de garde à la place qu'elle devrait occuper si les deux voies étaient posées, afin d'éviter dans la suite un déplacement onéreux de cette maison. Dans les passages biais, la maison se place toujours dans l'angle obtus, afin de la rapprocher, autant que possible, de la barrière et de diminuer ainsi le parcours du garde. Dans tous les cas, la façade doit être au moins à une distance de 2 mètres du bord de la route, ou du chemin, ou de la clôture formant limite de la grande voirie. L'implantation de la maison se fait d'après les indications du type et du profil en travers de la planche B, en tenant compte des chiffres suivants qui représentent les cotes de niveau des diverses parties de la maison par rapport au rail : sol de la cave, $-1^{m},42$; naissance de la voûte, $+0^{m},08$; sol aux abords de la maison, $+0^{m},40$; dessous du socle, $+0^{m},35$; dessus du socle, $+0^{m},90$; rez-de-chaussée, $+0^{m},70$.

On ménage tout autour de la maison une plateforme de

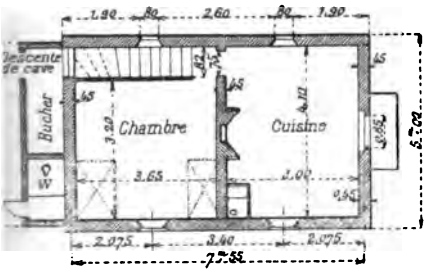
Elévation latérale.



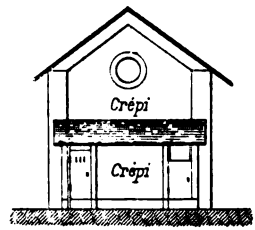
Pignon côté de la voie



Plan du Rez-de-Chaussée



Pignon opposé à la voie



Profil en travers sur l'axe de la maison

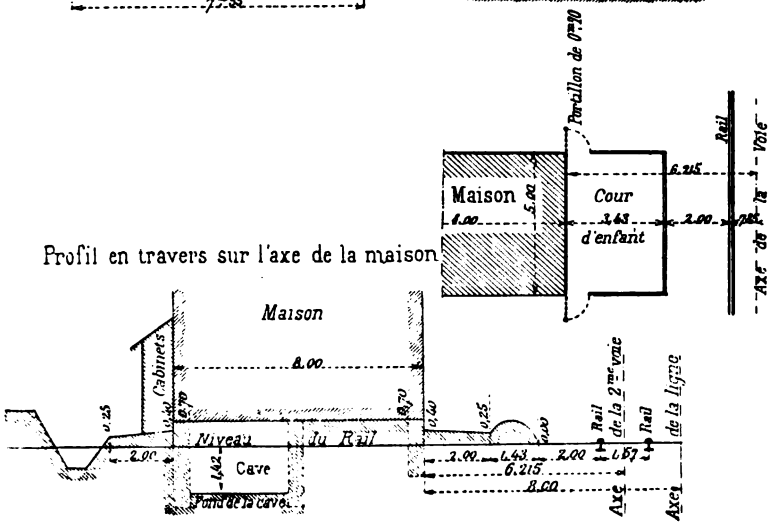


PLANCHE B.

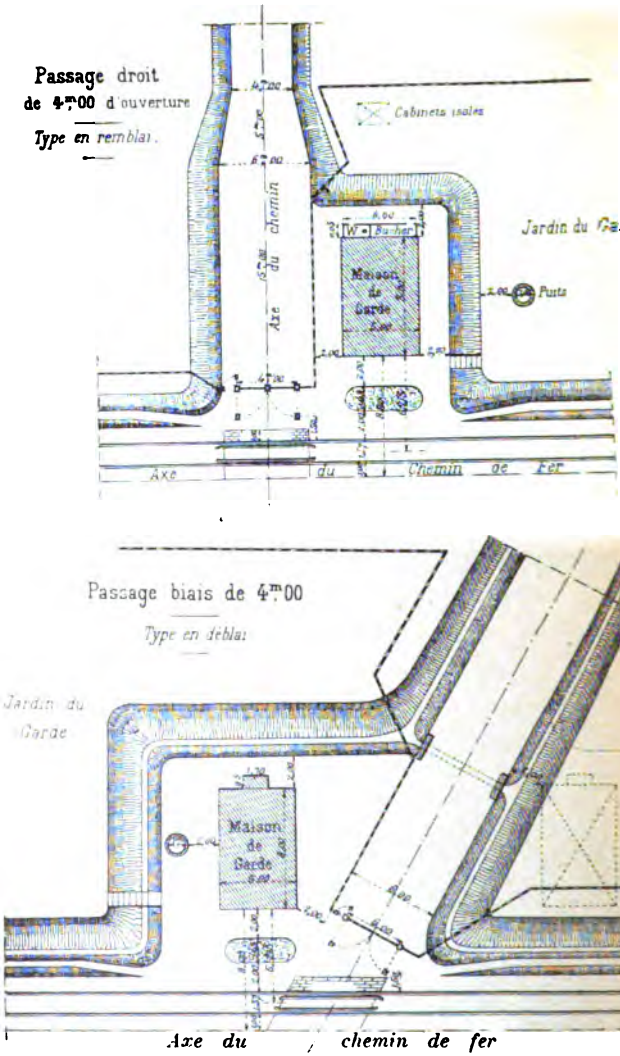

Passage droit
de 4m00 d'ouverture
Type en remblai.
Cabinets isolés
Jardin du Garde
Maison de Garde
Puits
Axe du chemin
Axe du Chemin de Fer
Passage biais de 4m00
Type en déblai
Jardin du Garde
Maison de Garde
Axe du chemin de fer

PLANCHE C.

2 mètres, et devant la porte on dispose une corbeille en terre végétale, en forme de cavalier, que l'on plante ordinairement d'arbustes ou plantes vivaces. Cet obstacle, qui oblige à un détour, empêche les enfants d'arriver directement sur la voie et permet au garde de mieux apprécier la distance qui l'en sépare et le danger qu'on peut courir dans la précipitation. On établit parfois devant la maison une petite cour d'enfant, de 5 mètres sur $3^{m},43$, entourée d'une clôture en treillage et sur les côtés de laquelle on ménage contre la façade un portillon de $0^{m},70$ (voir planche C ci-devant.)

Dans les courbes et afin de dégager la vue, surtout dans les tranchées, on place la maison de préférence du côté de la convexité.

Le pignon est généralement placé parallèlement à la voie; la porte d'entrée regarde la ligne ; deux fenêtres sont ménagées sur chaque façade latérale : deux fenêtres éclairent la cuisine où se tient la garde, l'une donne sur le chemin, l'autre a vue sur la ligne ; les deux autres éclairent la chambre à coucher, du côté du chemin, et l'escalier conduisant au grenier. Quand les circonstances exigent que la maison soit placée autrement, c'est-à-dire la grande façade du côté de la ligne, la fenêtre de la cuisine devient la porte d'entrée, laquelle est alors remplacée par une fenêtre dans le pignon du côté du chemin.

Quelquefois, dans les tranchées, et pour la commodité du garde, on place le puits sur un côté de la plateforme ; on donne alors à ce côté une largeur de 4 mètres, et le bord de la margelle doit être au moins à 2 mètres du nu de la façade. Le fossé de la tranchée devant être couvert par un aqueduc dans la traversée du passage et devant la maison, on a, dans certains cas, avantage à lui faire contourner la plateforme de la maisonnette ; l'aqueduc n'existe alors que sous la route ou le chemin, ce qui réduit la dépense.

Assainissement de la cave. — Une condition importante dans la construction des maisons de garde, c'est l'assainissement de la cave. Aussi, quand la nature du sol et la configuration des lieux le permettent, elles sont presque toujours établies à la distance et à l'altitude données par le profil normal, qui

porte le fond de la cave à 1m,42 en dessous du niveau du rail. Mais dans les tranchées profondes atteignant 5 ou 6 mètres, et dans une courbe, la vue de la maison serait complètement masquée par les talus ; de plus, on assainirait difficilement le fond de la cave, car on serait obligé de construire un drain sur une certaine longueur pour pouvoir amener les eaux dans le fossé et regagner ainsi la pente générale de la ligne. Dans ce cas, il est préférable de relever le seuil de la maison en l'implantant, sinon au niveau du sol naturel, du moins à une certaine hauteur au-dessus du rail, ce qui l'éloigne de l'axe de la ligne. On y accède alors par une pente douce débouchant de chaque côté de la corbeille établie devant la porte de la maison.

On ménage, en outre, dans les talus de remblai ou de déblai, un petit escalier de 1 mètre de largeur pour accéder de la plateforme de la maison au jardin du garde. Les marches de cet escalier ont 0m,27 de foulée sur 0m,18 de hau-

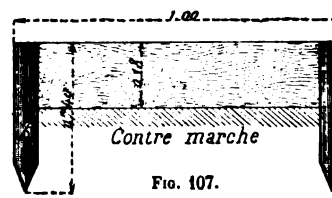


Fig. 107.

teur ; elles sont taillées dans le sol naturel ou le remblai et sont retenues par une planche en chêne, ordinairement de 0m,03 d'épaisseur, formant contremarche, et fixée sur champ au sol naturel au moyen d'un piquet à chaque extrémité (*fig.* 107).

Profil du chemin aux abords du passage.— Dans le cas d'un chemin de moins de 6 mètres, on donne à la déviation ou à la rectification une largeur de 6 mètres entre les arêtes des accotements sur une longueur d'au moins 15 mètres à partir de l'axe des barrières. Cet excédent de largeur donné au chemin se raccorde avec sa largeur normale sur une lon-

gueur de 5 mètres, de façon à ne pas produire un étranglement trop brusque, qui serait d'un effet désagréable à l'œil.

La pente du chemin ne doit pas, à moins de circonstances exceptionnelles, dépasser $0^m,02$ sur une longueur de 10 mètres en dehors de chaque barrière, afin de faciliter l'arrêt des voitures attendant l'ouverture du passage.

Passages à niveau particuliers. — L'Administration ou les Compagnies concèdent quelquefois à des propriétaires pour la desserte d'usines ou de propriétés importantes, des passages à niveau particuliers dont les dépenses sont supportées par les intéressés. Ces passages, à l'usage presque exclusif des piétons et rarement des voitures, sont munis de portillons fermés à clef par les soins et sous la responsabilité absolue du permissionnaire.

La concession de ces passages particuliers ne peut être faite par la Compagnie sans l'autorisation de l'Administration supérieure après avis du contrôle.

Prix de revient d'un passage à niveau. — Le prix moyen d'un passage à niveau peut être évalué à environ 7.200 ou 7.500 francs se décomposant ainsi :

	Francs.
Maison proprement dite.....	5.000
Cabinets isolés	350
Puits.....	650
2 barrières avec 2 portillons.....	350
Pose, pavage, sujétions diverses.....	850
Total.....	7.200

On trouvera ci-après le prix de revient de quelques passages à niveau du réseau de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

Sur la ligne de Chagny à Auxonne, où l'infrastructure a été faite par l'Etat, la moyenne des prix de 47 passages à niveau, pour construction et assainissement de la maison, puits et cabinets isolés (ce qui augmente un peu le prix moyen du type ordinaire) s'est élevée, non compris l'établissement des barrières, à 7.450 francs.

	Francs.
Sur la ligne de Besançon à la frontière Suisse	7.000
— Forminy à Annonay.....	6.500
— Lons-le-Saunier à Champagnole (cabinets attenant).....	7.150
Sur la ligne de Champagnole à Saint-Laurent (cabinets attenant)	6.665
Sur la ligne de Roanne à Chalon (cabinets attenant).....	6.872
— Saint-Gengoux à Montchanin (cabinets attenant)	5.655
Sur la ligne de Vougeaucourt à Saint-Hippolyte (cabinets attenant)	5.500
Sur la ligne de Cosne à Clamecy (cabinets attenant).....	5.500
Sur la ligne des Laumes à Epinac —	5.500

Sur cette même ligne de Chagny à Auxonne les barrières des passages à niveau ont coûté, savoir :

	Francs.
Passages à niveau de 6 mètres: 2 barrières et 2 portillons posés.....	345
Passages à niveau de 4 mètres: 2 barrières et 2 portillons posés.....	315
Passages à niveau de 4 mètres: 2 barrières à contrepoids manœuvrées à distance avec 2 portillons, transmissions, poteaux, sonneries.....	650

Sur la ligne des Laumes à Epinac où les travaux de l'infrastructure ont été faits par la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, ces prix ont été de :

	Francs.
Passages à niveau de 6 mètres: 2 barrières et 2 portillons posés.....	355
Passages à niveau de 4 mètres: 2 barrières et 2 portillons posés.....	335
Passages à niveau de 4 mètres: 2 barrières à contrepoids avec portillons, transmissions, poteaux, sonneries ...	640

Réglementation des passages à niveau. — Un arrêté ministériel du 30 mai 1892, modifiant l'ordonnance du 15 novembre 1846, détermine ainsi le classement des passages à niveau et le régime auquel ils sont soumis ;

ARTICLE 1er. — Les passages à niveau établis pour la traversée des chemins de fer sont divisés en cinq catégories.

ART. 2. — Sur toutes les lignes, le service est divisé en service de jour et service de nuit. Sauf exception le service de jour commence à six heures du matin et finit à neuf heures du soir ; le service de nuit commence à neuf heures du soir et finit à six heures du matin.

ART. 3. — Dans la *première catégorie*, sont compris tous les passages à niveau pour voitures, ouverts en moyenne *plus de* 100 *fois par vingt-quatre heures.*

Pendant le service de jour les barrières de ces passages à niveau restent habituellement ouvertes ; elles sont fermées lorsqu'un train est en vue ou attendu.

Pendant le service de nuit elles sont habituellement fermées.

Le service en est fait jour et nuit par des agents qui doivent être constamment à portée de ces passages. Ce service peut être, à moins d'inconvénients reconnus, confié à des femmes, soit durant le jour, soit durant la nuit.

ART. 4. — La *deuxième catégorie* comprend les passages à niveau pour voitures, ouverts en moyenne de 50 *à* 100 *fois par vingt-quatre heures.*

Les barrières sont manœuvrées, soit directement par un agent, homme ou femme, logé dans une maison contiguë au passage à niveau, soit à distance par le garde du passage voisin.

Pendant le service de jour : — 1° sur les lignes à très grande circulation de trains, les barrières sont habituellement fermées ; elles sont ouvertes à la demande des passants ;

2° Sur les lignes à moyenne ou à faible circulation de trains, les barrières sont habituellement ouvertes ; elles sont fermées lorsqu'un train est en vue ou attendu.

Pendant le service de nuit, les barrières sont habituellement fermées sur toutes les lignes. Le garde chargé de leur manœuvre est tenu de répondre à l'appel de toute personne qui en demande l'ouverture.

ART. 5. — Dans la *troisième catégorie* sont rangés les passages à niveau pour voitures, ouverts en moyenne *moins de* 50 *fois par vingt-quatre heures.*

Ils sont habituellement fermés jour et nuit et ouverts, à la demande des passants, par l'agent, homme ou femme, logé dans la maison contiguë au passage à niveau, ou, si les barrières sont manœuvrées à distance, par le garde du passage voisin.

ART. 6. — Quand la manœuvre est faite à distance par le garde d'un passage voisin, un système de communication permettant de demander l'ouverture et d'annoncer la fermeture doit être établi entre le passage et l'agent chargé de la manœuvre.

ART. 7. — Les passages à niveau soit pour voitures, soit pour

piétons, concédés à des particuliers, à charge par eux d'en assurer la manœuvre forment la *quatrième catégorie*.

Les barrières en sont fermées à clef par les propriétaires, et manœuvrées par eux sous leur propre responsabilité.

ART. 8. — Dans la *cinquième catégorie* sont rangés tous les passages à niveau publics pour piétons, isolés ou accolés à des passages pour voitures.

Ces passages sont fermés par de petites barrières ou portillons que les passants ouvrent eux-mêmes, à leurs risques et périls et qui se referment par leur propre poids.

ART. 9. — Par dérogation aux dispositions des articles ci-dessus, les barrières manœuvrées à distance peuvent rester habituellement ouvertes entre le lever et le coucher du soleil, dans les limites du service de jour. En temps de brouillard, ces barrières sont habituellement fermées.

ART. 10. — Sur les lignes où la circulation des trains est régulièrement suspendue pendant une partie de la nuit, les barrières des passages à niveau des première, deuxième et troisième catégories restent ouvertes, sauf les exceptions autorisées par l'administration, entre le dernier train du soir et le premier train du matin.

ART. 11. — Par dérogation aux prescriptions des articles 3, 4 et 5, sur les lignes à faible circulation de trains, la Compagnie pourra être autorisée à maintenir les barrières des passages à niveau des trois premières catégories normalement ouvertes et non gardées dans l'intervalle des passages des trains, soit de nuit, soit de jour.

ART. 12. — Sur celles des lignes à faible circulation de trains qui rempliraient les conditions énumérées dans la loi du 27 décembre 1880, la Compagnie pourra être autorisée pour les voies de terre peu fréquentées, à supprimer toute barrière et à laisser le passage libre, lorsque les conditions de visibilité seront satisfaisantes.

Il est défendu de traverser les passages à niveau ainsi dépourvus de barrières ou de les faire traverser par des animaux ou des véhicules quelconques lorsqu'un train approche. Un écriteau placé bien en vue près de chacun de ces passages portera cette défense à la connaissance du public.

ART. 13. — Sur les points où la fréquentation serait nulle pendant une partie du jour ou de la nuit, ou à certaines époques de l'année, certains passages à niveau, désignés spécialement, pourront être tenus constamment fermés pendant une partie du jour ou de l'année.

ART. 14. — Lorsque l'ouverture d'une barrière est demandée, l'agent chargé de la manœuvre doit s'assurer que les voies peuvent être traversées avant l'arrivée du train. Dans ce cas, il ouvre

les barrières en commençant par celle de sortie et les referme immédiatement.

Il doit refuser d'ouvrir lorsqu'un train arrivant est en vue, à moins de 2 kilomètres, ou est annoncé, soit par la corne d'appel du garde voisin, soit par tout autre moyen.

Aux passages à niveau fermés par des barrières manœuvrées à distance, la demande d'ouverture se fait au moyen de sonnettes ou de tout autre système d'avertissement accepté par l'Administration, et, de son côté, l'agent chargé de la manœuvre doit, avant de refermer la barrière, en avertir par plusieurs coups de sonnette.

ART. 15. — Les barrières des passages à niveau qui sont habituellement ouvertes, par application des articles 3, 4, 9 et 11 doivent être fermées cinq minutes avant l'heure réglementaire du passage des trains réguliers ou annoncés; on les rouvre immédiatement après le passage de ces trains. Pendant qu'elles sont ainsi fermées, leur ouverture, lorsqu'elle est demandée, a lieu dans les conditions et conformément aux prescriptions de l'article précédent.

Lorsqu'un passage à niveau, voisin d'une station, sera dans le cas d'être intercepté pendant plus de dix minutes consécutives, par des trains en stationnement ou en manœuvre, le préfet fixera, s'il y a lieu, sur la proposition de l'ingénieur en chef du Contrôle de l'Exploitation technique et la Compagnie entendue, la durée maximum de l'interruption du passage.

ART. 16. — Pendant toute la partie de la nuit où il y a des mouvements de trains et tant que les barrières sont maintenues fermées, les passages à niveau de première catégorie sont éclairés de deux feux, et ceux de deuxième catégorie d'un feu.

Les passages de ces deux catégories situés sur des lignes où la circulation des trains est régulièrement suspendue pendant une partie de la nuit peuvent ne pas être éclairés pendant la durée de cette suspension, lorsque leurs barrières restent ouvertes.

Ceux des autres catégories ne sont pas éclairés, à moins de prescriptions spéciales de l'Administration supérieure.

ART. 17. — Le classement des passages à niveau dans chacune des catégories ci-dessus déterminées est réglé, sur la proposition de la Compagnie et d'après l'avis de M. l'ingénieur en chef du Contrôle de l'Exploitation technique par des arrêtés préfectoraux qui sont soumis à l'approbation ministérielle. Ces arrêtés désignent les passages auxquels il sera fait application des dispositions spéciales prévues aux articles 3, 9, 11, 12 et 13.

Choix du mode de traversée. — On a examiné les trois modes de traversées des voies de communication; on verra

ci-après quelles sont les considérations qui peuvent guider dans le choix du système à adopter suivant les circonstances.

La traversée des chemins ne coïncide pas toujours exactement, on le comprend, avec le niveau voulu pour l'établissement des ouvrages nécessaires à chaque genre de traversée: autrement le choix ne serait pas embarrassant, car il n'y a pas en effet d'hésitation, par exemple, entre une traversée en dessus ou en dessous de la ligne. Mais entre une traversée à niveau et une traversée en dessus ou en dessous le choix n'est pas, à première vue, toujours indiqué aussi facilement.

Un passage supérieur, ou inférieur, exigeant une dénivellation d'environ 6 mètres, si le tracé traverse une route à 3 mètres au-dessus du niveau de celle-ci, fera-t-on un exhaussement de cette route pour la traverser à niveau, ou l'abaissera-t-on pour établir un passage inférieur ?

Si, au contraire, le tracé rencontre une route à 3 mètres en dessous du niveau de la chaussée, abaissera-t-on celle-ci pour la traverser à niveau ou l'exhaussera-t-on pour faire un passage supérieur ?

C'est ici qu'on doit faire une étude attentive des rectifications ou déviations des chemins rencontrés et qu'on doit se guider surtout par l'importance de ces déviations, les pentes à adopter et les changements apportés dans le régime et les conditions de plan et de profils de ces chemins.

Il y a, en outre, la question de dépense qui est à considérer.

On vient de voir que le prix moyen d'établissement d'un passage à niveau peut être évalué à 7.500 francs.

Il faut ajouter à cela les frais de gardiennage.

Généralement ce travail est confié pendant le jour à la femme d'un garde-ligne, brigadier ou poseur, à laquelle on paye de ce chef un petit salaire de 100 à 150 francs. Pendant la nuit l'agent se lève à l'appel des passants. Cela constitue un petit surcroît de travail, quelque peu désagréable, mais néanmoins acceptable, pour lequel il lui est attribué une indemnité qui n'entre pas ici en ligne de compte, et qui correspond à peu près au loyer qu'on lui fait payer pour son logement.

Les frais de gardiennage se réduisent donc à peu près au

salaire de la femme de l'agent logé, soit 100 à 150 francs :

	Francs.
Ce qui représente en capital une somme d'environ	2.500
A laquelle on peut ajouter pour entretien du passage et des barrières, éclairage : 50 francs par an, représentant	1.000
Ce qui forme avec le prix d'établissement ci-dessus.	7.500
Une dépense totale d'environ.....	11.000

On a vu précédemment que, pour un chemin de 4 mètres, la dépense d'un pont par-dessus à établir sur un chemin de fer à une voie avec 8 mètres de largeur entre culées était de 10.000 francs ; pour un chemin de fer à deux voies de 19.000 francs ; pour un passage par dessous, de 4 mètres, ce prix est de 12.000 francs.

On voit donc que ces dépenses sont à peu près équivalentes.

Néanmoins, le passage à niveau qui, de prime abord, semble coûter moins cher, offre sur tous les autres systèmes de sérieux inconvénients. C'est un point nécessitant une surveillance attentive et sérieuse à cause des accidents qui peuvent arriver au passage de trains en retard ou non prévus ; c'est une grande sujétion pour les voitures, une gêne constante pour la circulation générale du chemin, par suite des arrêts imposés aux voitures au moment de la fermeture des barrières pour le passage des trains. Ces inconvénients sont certainement à considérer et sont encore beaucoup plus grands sur les lignes à forte circulation. Aussi, tant qu'on le pourra et qu'il n'en résultera pour le chemin qu'une rectification sur place sans autre inconvénient qu'une augmentation de rampe dans les limites admissibles, il n'y a pas à hésiter à donner la préférence à une traversée en dessus ou en dessous qui a l'avantage énorme de laisser la circulation libre. Il faut, toutefois, remarquer qu'une traversée en dessous peut, au point de vue de l'écoulement des eaux et de l'asséchement de la chaussée, avoir aussi des inconvénients, surtout si l'on se trouve dans la zone du champ d'inondation d'une rivière ; cette raison peut, dans ce cas, faire préférer le passage à niveau.

Comparaison de la dépense. — Les inconvénients du passage à niveau s'accentuent encore avec l'importance de la traversée ; d'autre part, s'il s'agit d'une route très fréquentée, les dépenses que nous avons indiquées pour entretien et gardiennage augmentent d'une façon notable.

En effet, si la circulation de nuit prend de l'importance, le service ne peut plus en être fait par un agent ayant à assurer, d'autre part, un service journalier ; on lui adjoint dans ce cas un auxiliaire appelé *veilleur de nuit*. D'autre part, la femme ne peut suffire la journée, en plus des soins de son ménage, à assurer seule le travail de manœuvre des barrières : son mari est obligé de consacrer à cette besogne une partie de sa journée à prélever sur son salaire.

Aux dépenses en capital indiquées ci-dessus de....	11.000
On peut donc ajouter :	
Veilleur de nuit : 800 francs représentant un capital de.....	16.000
Le temps du garde : 1/3, soit 400 francs.....	8.000
Augmentation de l'éclairage, environ 50 francs....	1.000
Ce qui donne un capital de premier établissement d'environ	36.000
Un pont par-dessus de 8 mètres entre culées, pour route, est estimé environ.....	20.000
Un pont de 16 mètres entre culées.....	33.000
Et un passage inférieur.....	25.000

On peut conclure de ce qui précède que sur les grandes routes, pour des traversées dans des conditions à peu près analogues comme difficulté, l'avantage reste constamment aux passages supérieurs ou inférieurs et qu'on ne doit recourir aux passages à niveau, comme on l'a vu pour les chemins ordinaires, que si on ne peut se procurer la différence de niveau nécessaire, pour un autre genre de passage, qu'au moyen de déviations importantes, de travaux coûteux et d'un aspect fâcheux pour les conditions normales de pente et de tracé de la route.

Espacement des traversées. — L'étude de la répartition des divers modes de traversées, et notamment des passages à niveau dans le projet d'une ligne, exige une grande attention, car il y a intérêt pour le service, au point de vue de l'exploitation, à loger un certain nombre d'agents à proximité de la ligne, afin d'en assurer la surveillance.

M. Sévène, dans son *Cours de Chemin de fer*, fait à ce sujet l'observation suivante :

« L'important est d'apporter dans ces questions un esprit de mesure exempt de parti pris, et de se tenir en garde contre les idées exclusives qui conduisent presque toujours à des exagérations dangereuses dans un sens ou dans l'autre, à des solutions outrées contraires à la nature des choses, et par suite au bon sens.

« Nous connaissons un département où les ingénieurs étaient certainement des adversaires décidés, des ennemis irréconciliables des passages à niveau, si bien qu'une grande ligne de chemin de fer, qui traverse ce département dans toute sa longueur, y a été construite sans un seul passage à niveau. Il a fallu, pour cela, faire de grandes dépenses de raccordements et de déviations, imposer de cruelles tortures aux profils des chemins traversés, et pour aboutir à ce résultat de n'avoir pas un seul agent logé sur la ligne ; en sorte, qu'après toutes ces dépenses faites, on a dû construire des maisons, sans passage, uniquement pour loger des agents sur le chemin de fer, sans aucun service à leur donner dans ces logements.

« Nous connaissons une autre section de chemin de fer où les passages à niveau sont tellement multipliés que tous les agents de la ligne, chefs d'équipe, gardes, poseurs étant logés, il reste encore des maisons vides et qu'on est obligé d'y placer des individus étrangers au chemin de fer.

« De telles exagérations doivent évidemment être évitées elles le sont naturellement pour peu qu'on limite raisonnablement le nombre des traversées, et qu'on applique à chacune d'elles le système de croisement qui convient à sa situation. »

Une bonne répartition de ces traversées ne doit pas conduire à plus de 1,40 à 1,50 passage par kilomètre, soit 1 tous

les 675 ou 700 mètres. Il est évident que ceci dépend des circonstances locales.

Le choix du mode de traversée présente des difficultés surtout aux abords des villes et dans le voisinage des gares où les inconvénients de la traversée à niveau sont plus accentués encore par les interruptions de circulation résultant de la manœuvre des trains. On est souvent dans l'impossibilité absolue de faire une déviation en dessus ou en dessous, la gare, aux abords des villes, se trouvant le plus souvent établie à peu près au niveau du sol naturel et des chemins qui y aboutissent. C'est pourquoi la traversée près des gares, malgré ses inconvénients, se fait presque toujours au moyen d'un passage à niveau.

Toutes les communications interceptées doivent être rétablies; cela ne veut pas dire qu'elles doivent l'être sur place, et qu'on fasse une traversée à tous les chemins rencontrés. Les routes et chemins importants sont ordinairement modifiés sur leur emplacement actuel, et d'autres fois on réunit plusieurs chemins par une déviation, si elle n'est pas trop longue, pour en faire une seule traversée. On rattache, autant que possible, par une déviation les chemins ruraux ou de moindre importance aux chemins pour lesquels on a ménagé une traversée quelconque, de façon à ne pas augmenter le nombre de ces traversées.

Chemins latéraux. — Quant aux chemins de desserte, on les réunit par des chemins latéraux à la ligne pour les amener à la traversée la plus voisine quand leur importance ne saurait justifier un passage spécial. Cela entraîne généralement pour les propriétaires un allongement de parcours dont il leur est tenu compte lors des expropriations.

Comme on le voit, l'étude du rétablissement des communications demande une certaine connaissance des lieux et une grande attention, afin de compenser, dans la mesure compatible avec les intérêts de l'État, la gêne apportée par un chemin de fer au régime des communications et au trouble qui en résulte pour l'exploitation des propriétés riveraines.

OUVRAGES D'ART EXCEPTIONNELS

On entend par *ouvrages d'art exceptionnels* ceux qui sortent des types courants et font pour la plupart, par leur importance, l'objet d'un projet spécial dans le projet général de la ligne. On les divise en trois catégories :

Les grands ponts ;
Les viaducs ;
Les souterrains.

§ 1. — Grands ponts et viaducs

Les grands ponts et les viaducs se construisent partout de la même façon, aussi bien pour une route que pour un chemin de fer. On ne parlera donc pas ici de la construction proprement dite de ces ouvrages que l'on trouvera détaillée dans d'autres traités, mais on dira quelques mots seulement des circonstances où il convient de recourir à l'emploi des viaducs et de la dépense qu'entraînent ces ouvrages.

Quand on doit franchir, à une grande hauteur, une vallée profonde, on ne peut le faire qu'au moyen d'un remblai ou d'un viaduc. La surface du vide à franchir dans cette circonstance est la mesure de l'effet utile de l'ouvrage à établir, mais n'est pas précisément proportionnelle à la dépense qui en résulte. Il faudrait pour cela pour le remblai, par exemple, que son cube fût proportionnel à sa surface d'élévation, c'est-à-dire que sa largeur fût constante, alors qu'elle croît avec la hauteur, par suite de l'épanouissement des talus. La dépense serait donc plutôt proportionnelle au cube qu'au carré des dimensions homologues de deux vides semblables.

Pour les viaducs, la proportionnalité de la dépense de la surface d'élévation est plus rapprochée que pour les terrassements, et on peut dire que l'application de ce moyen de comparaison donne des résultats suffisamment approchés, surtout quand il s'agit d'une évaluation d'avant-projet.

VIADUCS EN MAÇONNERIE

Dans l'établissement d'un viaduc en maçonnerie, on adopte généralement la voûte en plein cintre avec la proportion de 1 à 2 entre la hauteur des piles et l'ouverture des voûtes. Ainsi, pour un viaduc de 30 mètres de hauteur, on construit des arches de 15 mètres et on donne aux piles une épaisseur de 3 mètres, soit le 1/10 de la hauteur avec un fruit de 3 0/0; ce sont des conditions très convenables tant au point de vue de l'aspect qu'à celui de la dépense (*fig.* 108).

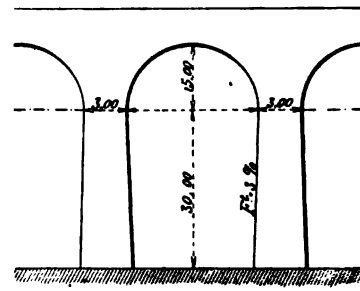


Fig. 108.

L'expérience montre que la dépense d'un viaduc, au mètre superficiel d'élévation, augmente avec la hauteur, surtout en raison de l'élévation des prix de la maçonnerie, si on reste dans les formes ordinaires. Mais, dès que la hauteur s'accroît de façon à recourir, par exemple, à la forme à deux étages, l'augmentation de dépenses prend immédiatement des proportions sensibles, par suite de l'accroissement du cube des maçonneries de la partie inférieure.

Dépense par mètre superficiel d'élévation. — Nous extrayons du *Cours* de M. Sévène les renseignements suivants sur l'établissement de divers viaducs construits sur la ligne

de Bretagne par M. Desnoyers, sous la direction de M. Morandière, et dans des conditions à peu près comparables.

	CHATEAULIN	HENNEBONT	AURAY	QUIMPERLÉ	AULNE
	mètres	mètres	mètres	mètres	mètres
Longueur de l'ouvrage.....	117 »	222 »	206 »	156,60	357 »
Nombre d'arches (ouverture).....	7 de 12m	5 de 22m 6 de 10m	10 de 15m	7 »	10 de 15m
Hauteur des piles.....	24,20	27,37	29 »	31,35	49 »
Épaisseur aux naissances.....	2,50	3,50	3,30	3,50	4,80
Prix par mètre superficiel en élévation. Au-dessus des fondations.....	104 »	116 »	104 »	112 »	128 »
Fond. comprises....	112 »	197 »[1]	152 »	134 »	154 »
Prix moyen de la maçonnerie Au-dessus des fond.	32 »	37 »	32 »	35 »	44 »
Fond. comprises...	33 »	54 »	39 »	39 »	
Cube de maçonnerie par mètre superficiel.....	3, 63	3,63	3,88	3,46	3,28

[1] Les fondations de cet ouvrage ont présenté des difficultés exceptionnelles.

Dans les conditions ordinaires, les prix moyens de fondations sont très variables et peuvent aller de 5 à 25 francs par mètre superficiel d'élévation.

Ce prix a été de 8 francs au viaduc de Châteaulin, dont les fondations n'ont demandé qu'une profondeur de 3m,68;

De 22 francs au viaduc de Quimperlé, dont les fondations ont eu 5m,50 ;

De 48 francs au viaduc d'Auray, dont les fondations ont atteint 9m,32 en rivière ;

Et de 81 francs au viaduc d'Hennebont, dont les fondations, également en rivière, ont atteint 9m,60, dans des conditions de difficultés exceptionnelles.

Le prix du mètre cube de maçonnerie augmente avec la hauteur en raison des difficultés d'approche des matériaux, et la dépense par mètre superficiel s'accroît dans la même proportion, ce qui prouve que le cube moyen varie peu.

On peut dire, à peu près d'une façon générale, que la dépense d'un viaduc, mesurée au mètre superficiel d'élévation,

croît avec cette élévation, d'environ 1/100e par mètre de hauteur, soit 25 0/0 pour une hauteur de 25 mètres. C'est ce qui a lieu, du reste, entre les viaducs de Châteaulin, Quimperlé et de l'Aulne, comme on peut le voir par le tableau qui précède.

Si on passe à la forme à deux étages, l'augmentation devient alors plus sensible.

Au viaduc de Morlaix de $56^m,60$ de hauteur, constitué par deux rangs d'arches superposées : 9 arches de $13^m,45$ d'ouverture et $19^m,85$ de hauteur sous clef à l'étage inférieur et 14 arches de $15^m,50$ d'ouverture et $32^m,25$ de hauteur sous clef à l'étage supérieur, le prix par mètre superficiel a été de 172 francs, et le cube moyen de la maçonnerie par mètre superficiel de $5^m,74$.

Le viaduc de Chaumont, le plus léger dans le type de ce genre d'ouvrages, de 600 mètres de longueur et de 53 mètres de hauteur, est composé de 3 étages ; les voûtes de l'étage inférieur ont $9^m,25$ d'ouverture ; celles de l'étage intermédiaire, $9^m,50$; et celles de l'étage supérieur, 10 mètres ; le prix par mètre superficiel a été de près de 290 francs.

M. Sévène estime la dépense d'un viaduc ordinaire de 30 mètres de hauteur à 125 francs par mètre superficiel avec matériaux granitiques, et à 105 francs avec matériaux calcaires.

Pour une hauteur plus ou moins grande, les prix sont donnés par les formules suivantes :

Avec matériaux granitiques :

$$p = 125 + 1,25\,(H - 30);$$

Avec matériaux calcaires :

$$p = 105 + 1,05\,(H - 30).$$

Les prix indiqués ci-dessus s'appliquent à un viaduc à double voie ; si le viaduc est établi pour une seule voie, on constate que la diminution de la dépense est seulement de 1/4, soit 25 0/0, la réduction de largeur, qui est dans le rapport de 8 à 4,50, n'ayant aucune influence sur les surfaces

des têtes ni sur la surface et le cube des parties en saillie comme le fruit et les contreforts des piles.

Prix moyens de quelques viaducs. — Au moyen des formules indiquées ci-devant, on a pu composer le tableau suivant donnant les prix qu'on peut adopter pour des viaducs à une et à deux voies, suivant qu'on emploie des matériaux granitiques ou calcaires :

DÉSIGNATION des OUVRAGES	HAUTEUR	PRIX DU MÈTRE SUPERFICIEL DE L'OUVRAGE			
		pour deux voies		pour une voie	
		en granit	calcaire	en granit	calcaire
	mètres	francs	francs	francs	francs
Viaduc de	20	112,50	94,50	84,50	71,50
—	30	125,00	105,00	94,00	79.00
—	40	137,50	115,50	103.00	87.00
—	50	150,00	126,00	112,50	95,00
—	60	162,50	136,50	122,00	102,50

Hauteur à partir de laquelle on doit employer le viaduc. — Lorsqu'un chemin de fer franchit une vallée à une certaine hauteur, quel est le système le plus économique, d'un remblai ordinaire ou d'un viaduc ?

Si l'on suppose une ligne à deux voies avec une plateforme de $9^{m},60$ et des remblais au prix moyen de 2 fr. 25, le cube du remblai, par mètre courant, pour une hauteur H, est de :

$$\left(9,60 + \frac{3}{2}\,H\right) H$$

ou

$$9,60\,H + \frac{3}{2}\,H^{2}.$$

Le prix du remblai étant de 2 fr. 25 par mètre cube, on

aura donc :

$$2{,}25\ \left(9{,}60\,H + \frac{3}{2}\,H^2\right),$$

pour prix du remblai par mètre courant.

Pour H = 20 le cube par mètre courant sera de 792m3
Et le prix correspondant de..... 1.782 fr. »
Le prix d'un viaduc en matériaux calcaires étant, d'après le tableau qui précède, de..... 94 fr. 50 par mètre superficiel, sera pour 20 mètres de hauteur..... 1.890 fr. »

L'avantage au point de vue de la dépense serait du côté du remblai, d'environ 100 francs par mètre courant.

On trouverait de la même manière, pour H = 25,
un cube par mètre courant de..... 1.177m3,50
Correspondant à une dépense de..... 2.649 fr. 37
Alors qu'un viaduc ne coûterait que..... 2.493 fr. 75

Mais on remarquera que, même à la différence près qu'on vient de trouver pour la hauteur de 20 mètres, l'avantage du remblai doit néanmoins le faire écarter. En effet, dans la vallée traversée par un remblai de cette importance, il existe presque toujours un cours d'eau auquel il faut ménager un écoulement à travers ce remblai, et pour cela construire un pont qui, dans le cas actuel, n'aurait pas moins de 60 mètres. Cette dépense supplémentaire peut atteindre, suivant les circonstances, un chiffre assez élevé. Le viaduc, au contraire, peut assurer, sans augmentation de dépense, l'écoulement des eaux ordinaires et même des eaux de crues qui peuvent couler dans la vallée.

Aussi, pour cette raison, c'est généralement à partir de 15 à 18 mètres de hauteur que l'on remplace le remblai par un viaduc sur les lignes à voie unique, et de 18 à 24 mètres sur les lignes à double voie. Il ne s'ensuit pas qu'on substitue le viaduc au remblai, à partir de la hauteur d'équilibre des

dépenses; on emploie l'un ou l'autre des moyens sans jamais les combiner, ce qui produirait un mauvais résultat : les talus des remblais, dans leur épanouissement, couvriraient et masqueraient une partie de l'ouvrage. Si les dispositions du terrain et les circonstances justifient l'emploi du viaduc, il doit régner sur toute la vallée, d'un coteau à l'autre.

VIADUCS MÉTALLIQUES

Les conditions qui précèdent ne s'appliquent qu'aux viaducs en maçonnerie que l'on construit ordinairement jusqu'à une hauteur de 40 à 50 mètres au plus, car on ne donne guère aux voûtes une ouverture supérieure à 20 ou 25 mètres.

Mais, dès qu'on dépasse cette hauteur, il faut alors recourir aux viaducs à deux étages d'arches superposées, ce qui entraîne à des dépenses considérables à cause du cube énorme qui entre dans les maçonneries de la partie inférieure.

Depuis quelque temps déjà on fait usage, dans ce cas, des viaducs avec tablier métallique qui sont de construction plus légère, plus élancée, et dégagent beaucoup mieux la vue dans la traversée d'une ville principalement. La comparaison ne peut s'établir avec un remblai dont le système est, dans ce cas, forcément abandonné à cette hauteur et ne peut donc se faire qu'entre un viaduc en maçonnerie et un viaduc métallique.

L'emploi des poutres métalliques permet de franchir une plus grande portée qu'avec un ouvrage en maçonnerie, et donne par suite une plus grande latitude pour la disposition et l'espacement des points d'appui : on a des travées métalliques qui dépassent 100 mètres et atteignent parfois 150 mètres. D'autre part, le poids du tablier métallique, étant beaucoup moindre que celui de la maçonnerie des voûtes, permet aussi de réduire, dans de notables proportions, la surface de maçonnerie des points d'appui.

A l'origine des constructions métalliques on avait recours à ces ouvrages quand on ne pouvait, pour ainsi dire, faire

autrement, pour éviter les dépenses considérables de piles ou points d'appui intermédiaires. D'autre part, il semblait planer une certaine incertitude sur leur solidité, leur durée et la façon dont ils pouvaient se comporter.

Mais actuellement l'expérience en est faite, on est à peu près fixé d'une manière complète ou, du moins, suffisamment rassurante sur tous ces points ; la construction métallique est une question du moment, on pourrait même dire que nous sommes, au point de vue des constructions, sous le régime du fer. Les plus importants des ouvrages de ce genre, de construction récente, sont :

Le pont du Douro, construit en 1876, de 190 mètres de portée ;

Le pont de Cincinnati sur l'Ohio, de 157^{m}, 30 de portée, construit en 1877 ;

Et, enfin, le fameux viaduc de Garabit, sur la ligne de Marvéjols à Neussargue, dont le plus grand arc métallique a 165 mètres d'ouverture et 122 mètres de hauteur, construit en 1884 par la maison Eiffel, sous la direction de M. l'ingénieur Boyer.

D'après une note de M. Barbet, ingénieur en chef de la Société Cail (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1886), l'emploi de l'acier doux tendrait à remplacer le fer dans la construction des ponts à grande portée. Les pays producteurs d'acier, comme l'Angleterre et les États-Unis, construisent aujourd'hui leurs grands ponts en acier. Le pont en construction sur le Forth, dont le poids doit dépasser 42 millions de kilogrammes, en est le plus grand exemple. Ce pont est en acier pour deux voies, et on a admis dans les calculs de résistance un travail de 11^{kg},8 par millimètre carré. Cette considération constitue un des principaux avantages de l'acier, avantage qui ressort également de la comparaison des poids ; en effet, il résulte de la même note que :

	Mètres.
Une travée de 100 mètres en acier est du même poids qu'une travée en fer de	50
Une travée de 150 mètres en acier est du même poids qu'une travée en fer de	75
Une travée de 200 mètres en acier est du même poids qu'une travée en fer de	100

	Mètres.
Une travée de 300 mètres en acier est du même poids qu'une travée en fer de	130
Une travée de 400 mètres en acier est du même poids qu'une travée en fer de	160

D'autre part, pour un pont, le prix du kilogramme de l'acier ne dépasserait pas celui du fer.

Pour des hauteurs ordinaires et même à quelque augmentation de dépense près, un viaduc en maçonnerie, cela est incontestable, est infiniment supérieur à un viaduc métallique au point de vue de la solidité, de l'entretien et de la durée. Mais, à mesure que la hauteur s'accroît, les dépenses augmentent proportionnellement, tandis qu'une travée métallique coûte à peu près le même prix quelle que soit la hauteur des points d'appui. L'expérience montre, au contraire, qu'à partir d'une hauteur de 50 mètres le prix par mètre carré de viaduc métallique va en décroissant. C'est surtout cette marche en sens inverse de la dépense qui fait préférer le système de construction métallique dans les ouvrages de quelque importance.

M. Nordling, qui s'est occupé spécialement de la question des viaducs métalliques, donne la formule empirique suivante pour la détermination du prix par mètre courant d'un viaduc à deux voies:

$$P = 2170 + h\left(46 + \frac{h}{4}\right)$$

Les tableaux suivants, extraits de l'ouvrage de M. Humbert sur la construction des chemins de fer, donnent le poids du métal à compter dans un projet de pont et le prix de revient de quelques-uns de ces ouvrages.

Poids à compter pour superstructure de ponts métalliques

OUVERTURE des travées	POIDS du mètre courant à double voie	POIDS du mètre courant à voie unique	POIDS du mètre superficiel	OBSERVATIONS
mètres	kilog.	kilog.	kilog.	
15	1.716	943	214	Le rapport des poids entre les ouvrages à double voie et ceux à simple voie est égal à $\frac{20}{11} = 1{,}82$, sauf dans le cas où les voies sont indépendantes, le rapport est dans ce cas celui de 2 à 1. Le poids du mètre superficiel est déduit du poids par mètre courant en divisant par 8 celui du pont à double voie, et par 4,40 celui du pont à voie unique. Les ouvertures sont prises entre les parements des piles et non d'axe en axe des supports. Le mètre courant et le mètre superficiel s'appliquent à la longueur totale de la superstructure. Les poids ci-contre sont déduits d'ouvrages reconnus comme présentant d'excellentes conditions de stabilité et peuvent être adoptés comme base de calculs dans des avant-projets et même des projets définitifs en les considérant comme des maxima qui ne doivent guère ou pas être dépassés.
20	2.029	1.115	253	
25	2.359	1.296	295	
30	2.703	1.485	337	
35	3.061	1.682	382	
40	3.429	1.884	428	
45	3.807	2.092	475	
50	4.195	2.305	524	
55	4.590	2.522	573	
60	4.990	2.742	623	
65	5.396	2.965	674	
70	5.808	3.191	725	
75	6.224	3.420	777	
80	6.643	3.650	830	
85	7.063	3.881	882	
90	7.491	4.116	935	
95	7.919	4.351	989	
100	8.350	4.588	1.043	
105	8.783	4.826	1.097	
110	9.218	5.065	1.151	
115	9.657	5.306	1.206	
120	10.095	5.547	1.261	
125	10.536	5.789	1.316	
130	10.976	6.031	1.371	
135	11.422	6.276	1.426	
140	11.864	6.519	1.481	
145	12.310	6.764	1.537	
150	12.756	7.009	1.593	

Prix à adopter dans les estimations d'avant-projets de quelques ponts

DIMENSIONS PRINCIPALES			PRIX PAR MÈTRE COURANT			OBSERVATIONS
Ouverture	Hauteur de la superstructure [1]	Largeur entre garde-corps	Maçonnerie	Superstructure	Total	
mètres	mètres	mèt.		fr.		[1] La hauteur de la superstructure est celle des poutres principales quand on suppose la voie placée au bas du pont; elle est mesurée du dessous des poutres au-dessus du rail quand la voie est placée sur le haut du pont. Pour toutes les ouvertures on peut, du reste, réduire à 1 mètre environ la hauteur entre le dessous des poutres et le dessus du rail en faisant porter la voie sur les pièces de pont placées à la partie inférieure des poutres.
20	2	4,50	Variable avec la hauteur de l'ouvrage, la nature des fondations et le nombre des piles.	800	Variable suivant la dépense des maçonneries.	
40	4	4,50		1.100		
60	6	4,50		1.450		
80	8	4,50		1.900		
100	10	4,50		2.350		
20	2	8 »		1.450		
40	4	8 »		2.100		
60	6	8 »		2.650		
80	8	8 »		3.500		
100	10	8 »		4.300		

§ 2. — Souterrains

Conditions générales. — Les souterrains, ou tunnels, sont ordinairement construits pour la traversée d'un faîte ou d'un point de partage, soit par une route ou un chemin de fer, soit par un canal. Mais c'est plus généralement pour l'établissement d'un chemin de fer que l'on rencontre ce genre d'ouvrages.

L'article 16 du Cahier des Charges stipule : « Les souterrains à établir pour le passage du chemin de fer auront au moins 8 mètres de largeur entre les piédroits au niveau des rails sur les chemins à deux voies et $4^{m},50$ au moins sur les chemins à une voie. Ils auront 6 mètres de hauteur sous clef au-dessus de la surface des rails. La distance verticale entre

l'intrados et le dessus des rails extérieurs de chaque voie ne sera pas inférieure à 4m,80. »

Comme on le voit, ce sont les conditions exigées pour les passages supérieurs.

Pour la voûte c'est généralement la forme en plein cintre qui est adoptée ; alors avec la hauteur de 6 mètres sous clef, on obtient la cote de 4m,80 au-dessus du rail extérieur, dans les tunnels à deux voies. Cette hauteur donne un peu plus de 4m,80 dans les tunnels à une voie ; mais on la conserve néanmoins afin de faciliter l'aérage.

Types. — La hauteur de 6 mètres étant comptée à partir du rail, et la plateforme, ou radier, se trouvant à 0m,50 en con-

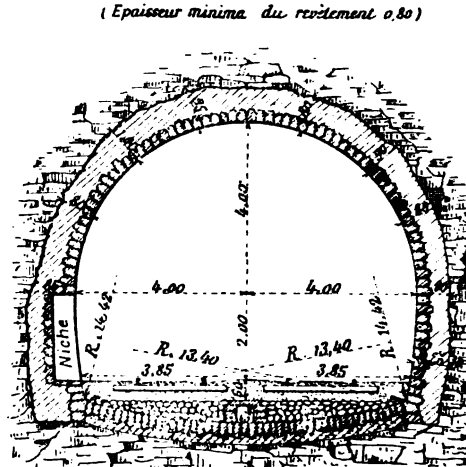


FIG. 109.

tre-bas de celui-ci, on a donc en tout 6m,50 sous clef. Avec ces données on détermine facilement la forme de l'ouvrage : deux piédroits de 2m,50 de hauteur, une voûte de 4 mètres de flèche

ou montée, avec une épaisseur variable de 0m,80 à 1 mètre, suivant les circonstances, ce qui représente une section d'environ 65 mètres à déblayer, compris le radier.

Quelquefois, au lieu de faire les piédroits parfaitement verticaux, on continue la courbe de la voûte, ou avec un rayon plus grand, jusqu'à la rencontre du radier. Cela ne donne plus exactement les 8 mètres exigés au niveau du rail ; l'Admi-

Voie unique

Coupe transversale

dans les marnes argileuses et les terrains détritiques

(Épaisseur minima du revêtement 0,80)

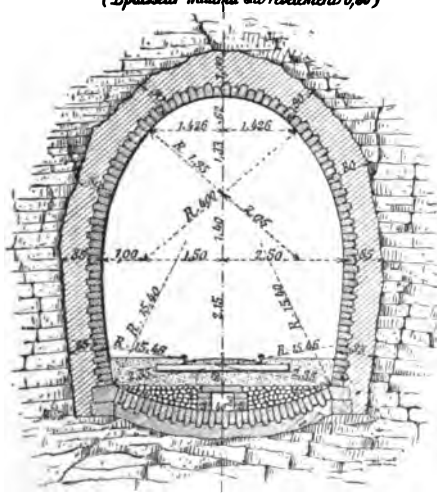


FIG. 110.

nistration admet généralement cette petite infraction qui diminue cette largeur d'environ 0m,30, mais qui, par contre, permet à l'ouvrage de mieux résister à la poussée des terres et à leur mouvement, surtout si elles manquent de cohésion.

Les figures 109 et 110 représentent les types adoptés par la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée pour les souterrains à deux voies et à voie unique.

Caponnières. — On ménage ordinairement dans les piédroits, en les espaçant d'environ 50 mètres de chaque côté, des *niches*, ou *caponnières*, disposées en quinconce et destinées à servir de refuges aux agents ou aux ouvriers de la voie, lors du passage des trains (*fig.* 108). De cette façon ces refuges ne sont éloignés que de 25 mètres sur l'ensemble de l'ouvrage. On les établit généralement au niveau du rail et on leur donne une hauteur de 2 mètres, sur 2 mètres de largeur et $1^{m},20$ de profondeur.

Il existe plusieurs méthodes pour l'exécution des souterrains; mais les plus usitées sont les deux suivantes:

La *méthode belge;*

Et la *méthode anglaise.*

Méthode belge. — La méthode belge, qui est principalement employée en France et quelquefois avec une variante qui sera décrite plus loin, comprend cinq opérations indiquées au croquis ci-contre (*fig.* 111) et se résumant ainsi:

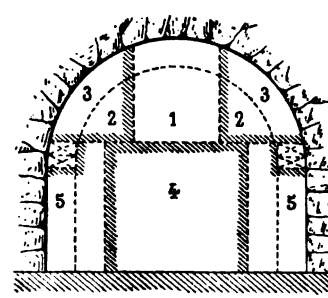


Fig. 111.

1° Ouverture d'une galerie d'avancement au sommet de la section de déblai;

2° Abatage en grand, c'est-à-dire enlèvement complet des parties latérales comprises entre le sommet de la section et le niveau du fond de la galerie;

3° Construction de la calotte, ou partie supérieure de la voûte, dans l'emplacement formé par les deux opérations ci-dessus;

4° Enlèvement de la partie restant entre les piédroits et appelée *strauss*;

5° Enlèvement des parties latérales et construction en sous-œuvre de la partie inférieure de la voûte, des piédroits et du radier s'il y a lieu.

Comme on le voit, ces opérations sont fractionnées en diverses parties concentrées sur une petite surface, de manière à pouvoir être exécutées avec moins de danger par autant d'équipes différentes qui se suivent constamment.

La galerie d'avancement est généralement ouverte sur 3 à 4 mètres de largeur et autant de hauteur, ce qui représente une section moyenne variable de 10 à 16 mètres, dont l'enlèvement n'offre généralement aucun danger pour la solidité de la masse dont on la détache. On a soin, néanmoins, de l'étayer et même de la blinder au fur et à mesure de l'avancement, suivant qu'on se trouve dans des terres ou des roches manquant de cohésion. Ces étais (*fig.* 112) sont composés de deux poteaux montants formés de rondins d'environ 20 centi-

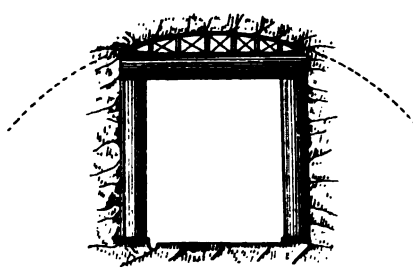


Fig. 112.

mètres de diamètre soutenant un chapeau constituant ainsi un cadre sur lequel on place, en les serrant, des madriers horizontaux formant ainsi un plafond jointif contre le ciel de la voûte. On place quelquefois une semelle à la partie inférieure des poteaux pour les maintenir plus solidement. Ces cadres sont ordinairement espacés de 1m,50 à 2 mètres, suivant, du reste, la nature des terrains rencontrés.

On a soin, en outre, d'ouvrir une petite rigole latérale pour écouler les eaux d'infiltration et les diriger, s'il y a lieu, du côté de l'ouverture du tunnel, dans le sens de laquelle la pente de l'ouvrage est presque généralement ménagée.

Cette galerie terminée sur une certaine longueur, et pendant qu'on la continue, on procède à son élargissement ;

c'est l'affaire d'une seconde équipe qui suit la première à une certaine distance, et fait ce qu'on appelle l'abatage en grand.

On complète ainsi la section du tunnel depuis le sommet jusqu'au niveau du fond de la galerie, en ayant soin de soutenir, comme on l'a fait pour la galerie d'avancement, les parois latérales au moyen de contrefiches appuyées en éventail contre les poteaux ou sur le fond de la partie déblayée sans trop nuire à l'enlèvement des déblais (*fig.* 113).

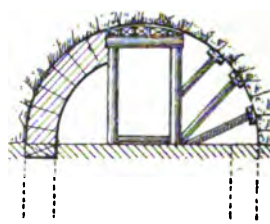


Fig. 113.

Quand cette deuxième opération a atteint une certaine longueur et qu'on a ainsi un espace libre de 3 à 4 mètres sous clef, un troisième chantier commence alors la maçonnerie de la voûte que l'on appuie sur le terrain naturel, lui servant de piédroits, comme si elle commençait en ce point et en la soutenant, au besoin, par des cales. La maçonnerie s'exécute ainsi par portions entre les étais que l'on enlève successivement pour construire la voûte à la place.

Si on a des raisons de craindre l'humidité et des suintements à travers les parements, il est prudent de combler les vides entre la maçonnerie et les parois de la galerie au moyen d'éclats de pierres arrangées à la main, formant un drain d'environ 15 centimètres d'épaisseur, pour recueillir les eaux provenant des couches filtrantes de la calotte et les conduire par derrière les piédroits dans l'aqueduc existant sous le radier (*fig.* 114).

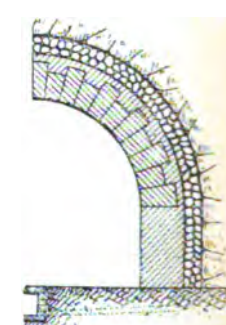


Fig. 114.

La partie supérieure de la voûte étant ainsi construite d'une manière définitive, la surface de la calotte se trouve alors soutenue complètement; on n'a plus à redouter les éboulements; la partie la plus délicate du travail est terminée.

et on peut travailler, à peu près en toute sécurité, à l'achèvement de la partie inférieure du souterrain.

Reprise en sous-œuvre. — L'enlèvement du strauss se fait en déblayant d'abord un noyau central jusqu'au niveau de la plateforme et laissant sur les côtés deux piliers naturels, deux culées pour ainsi dire, soutenant la partie supérieure de la voûte (*fig.* 115). On peut de cette façon établir une voie pour enlever, au wagonnet, les déblais qui jusque-là avaient été extraits à la brouette.

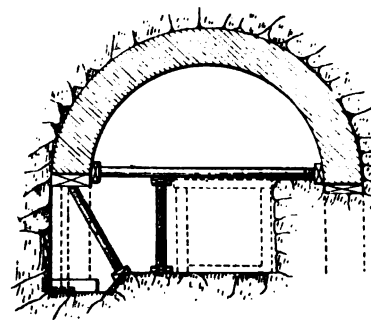


Fig. 115.

On vient ensuite faire l'attaque des déblais restants et la construction, en sous-œuvre, des piédroits et du reste de la voûte. Cette construction se fait par petites parties, de manière à ne pas trop laisser en porte-à-faux la maçonnerie du haut, en la soutenant, au besoin, par des poteaux et en maçonnant successivement, à la place, la position des piédroits et la voûte jusqu'à la partie déjà construite.

Comme on le voit, le travail se fait de haut en bas et non de bas en haut, comme dans les ouvrages d'art ordinaires, et les cinq opérations qui le constituent sont exécutées par cinq équipes différentes se suivant d'une façon constante, sans toutefois se gêner ni se nuire dans leurs manœuvres réciproques.

Méthode française. — L'expérience montre que le procédé d'exécution qu'on vient d'examiner est le plus commode de tous ; il est pourtant employé quelquefois avec une variante qui l'a fait appeler improprement *méthode française*, attendu que celle-ci est employée bien plus rarement en France que la méthode belge elle-même.

Elle consiste à déblayer d'abord et maçonner successivement les parties latérales et à laisser un noyau central comme point d'appui (*fig.* 116). D'autres fois, si le terrain est très compact et offre assez de solidité, on prépare l'emplacement des piédroits, toujours par petites portions, immédiatement après l'abatage en grand, sans construire la calotte de la voûte, mais en conservant le strauss, et on construit alors la maçonnerie des piédroits et de la voûte d'un seul coup.

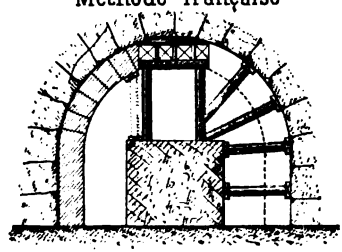


Fig. 116.

Cette variante, qui, au premier abord, paraît avoir ses avantages, en évitant ainsi l'exécution en sous-œuvre et permettant, au contraire, la construction immédiate et plus facile des maçonneries d'un seul bloc, présente l'inconvénient d'augmenter la surface déblayée et, par suite, les chances d'accidents. Elle doit donc être employée avec une grande prudence et surtout si le terrain offre une résistance suffisante sur laquelle on puisse compter.

Si, au contraire, le terrain dans lequel on se trouve n'est pas homogène, s'il est bouleversé et a des tendances à se déformer ou à céder sous la moindre pression, comme cela se produit généralement dans les terrains houillers, il est incontestable qu'alors le système belge, dans lequel la voûte est faite par portions successives, perd énormément de ses garanties en conduisant à une exécution moins uniforme des maçonneries en général.

Dans ces circonstances on a intérêt à exécuter la maçonnerie en une seule fois sur tout le développement de la section, de manière à former un tout plus homogène et présentant une résistance plus uniforme aux pressions extérieures avec beaucoup moins de chance de déformation. C'est ce qui constitue la méthode anglaise.

Méthode anglaise. — On commence, comme pour la méthode belge (*fig.* 117), par l'ouverture d'une galerie d'avancement placée non plus au sommet de la section, mais à la partie inférieure correspondant au niveau de la plateforme, ce qui paraît rationnel, car l'élargissement, au lieu de se faire par petites portions successives, s'applique à toute la section. Cette galerie est étayée, comme précédemment, et au fur et à mesure de son avancement on attaque l'abatage en grand, en soutenant la section vide par un boisage appuyé en éventail sur le cadre de la galerie ou sur le fond. Le front d'avancement latéral présentant une certaine surface, on le

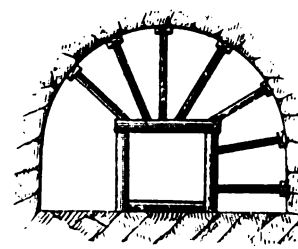


FIG. 117.

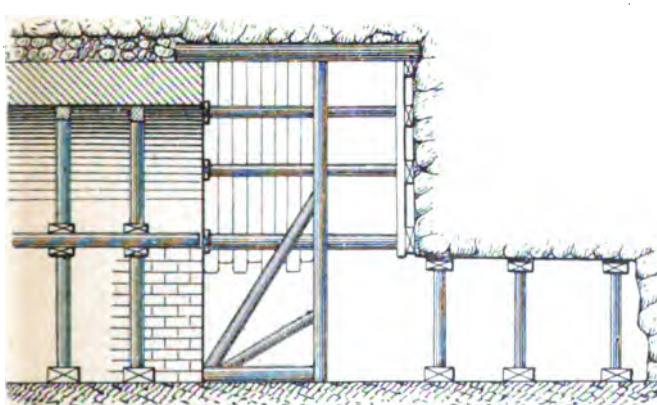


FIG. 118.

maintient par un fort boisage appelé *bouclier*, formé d'un blindage soutenu par des étais verticaux ou appuyé contre la maçonnerie déjà exécutée (*fig.* 118).

Au fur et à mesure que la galerie et la maçonnerie qui suit avancent, le bouclier se déplace et avance de la même manière, de façon à ne laisser en porte-à-faux que la plus petite partie possible du front d'avancement de la section complète du tunnel. On a soin de combler les vides laissés derrière les maçonneries, après l'enlèvement des boisages, au moyen d'éclats de pierres formant pierrées pour recueillir, s'il y a lieu, les eaux d'infiltration, comme on l'a dit précédemment, et au besoin par des déblais provenant de la fouille.

Durée du travail. — Comme on peut le voir par ce qui précède, l'avancement du travail est réglé sur la marche de la galerie d'attaque. Celle-ci ne pouvant être entreprise que par bout, suivant une section restreinte, c'est elle qui limite l'action générale et, par suite, détermine et règle l'importance des chantiers qui suivent. Quel que soit le procédé employé, le front de cette galerie, dont la section ne dépasse pas 12 à 15 mètres, ne peut s'attaquer qu'à la mine, si c'est du rocher ; on comprend dès lors, que l'avancement soit très lent, aussi ne peut-on guère compter sur une longueur de plus de 12 à 15 mètres par mois. C'est, du reste, à peu près la moyenne de l'avancement mensuel de plusieurs tunnels. Si le travail est attaqué des deux bouts à la fois, ce qui se fait généralement, c'est donc un avancement total de 25 à 30 mètres par mois. Pour un souterrain de 300 mètres de longueur, ce serait une affaire de dix mois environ, ce qui est un délai normal parfaitement admissible.

Mais, si la longueur atteint 3.000 mètres, par exemple, le percement par le procédé qui précède exigerait une durée de plus de cent mois, ce qui serait certainement trop long.

Puits intermédiaires. — On a recours alors à des attaques intermédiaires au moyen de puits disposés convenablement et descendant jusqu'au niveau de la plateforme. On peut ainsi faire, à chaque puits, deux attaques en galerie : une en avant, et l'autre en arrière. En multipliant le nombre de ces puits et le réglant suivant la dureté du terrain, on peut obtenir une exécution plus rapide. Il faut, toutefois, remarquer que l'avancement de la galerie, par les puits, marche beau

coup plus lentement que par les attaques des têtes qui correspondent directement avec l'extérieur, par suite des difficultés et de la gêne résultant, pour les manœuvres d'extractions, du passage des déblais par ces puits.

On estime, dans ces conditions, que la différence en moins est d'un quart environ et que le temps de forage d'un puits est à peu près le même, par mètre linéaire, que celui de l'avancement de la galerie correspondante et donne un travail mensuel d'environ 12 mètres cubes.

Espacement des puits. — M. Sévène donne le procédé suivant pour déterminer l'espacement des puits :

Supposons qu'on ait trente mois, par exemple, pour percer la galerie d'un tunnel dont l'avancement est évalué à environ 15 mètres par mois.

En l'attaquant d'une seule tête, la galerie aurait avancé pendant ce temps de 450 mètres de A en B (*fig.* 119); le pre-

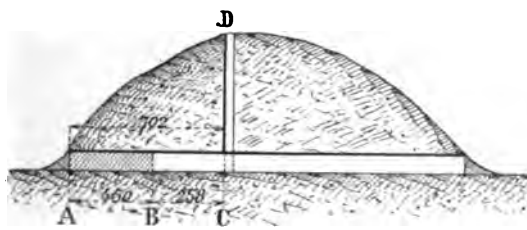


FIG. 119.

mier puits devra donc être percé à une distance telle du point B, qu'au bout de trente mois l'attaque en arrière soit parvenue au même point. On connaît, par le profil en long, l'altitude de la montagne; si donc on suppose le premier puits au point D, et que la hauteur CD soit égale à 100 mètres, on peut trouver d'une façon très approchée la position du point D. En effet, le forage du puits, avançant d'environ 12 mètres par mois, demandera donc huit mois et demi, on n'aura donc plus que vingt et un mois et demi pour la galerie corespondante, dont la longueur sera représentée par :

$$21{,}50 \times 12 = 258.$$

Le puits devra donc être placé à une distance du point A indiquée par :

$$450 + 258 = 708 \text{ mètres};$$

on déterminera de la même façon la position des autres puits.

On donne généralement aux puits une section de 10 à 12 mètres, soit $2^{m},50$ de largeur et 4 mètres de longueur, que l'on divise, au moyen de cloisons en planches et de madriers, en trois compartiments : deux servent au mouvement montant et descendant des bennes d'extraction et de transport des matériaux, et le troisième au transport des outils et au service des ouvriers, du personnel des travaux et de la surveillance.

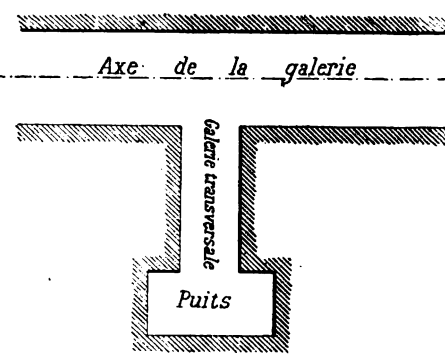


Fig. 120.

On place ordinairement ces puits un peu à droite ou à gauche de l'axe de la galerie principale à laquelle ils sont reliés par une galerie transversale (*fig.* 120), de façon à éviter aux hommes circulant à la partie inférieure, les accidents qui pourraient résulter de la chute de blocs, outils ou objets quelconques ou même de la rupture d'un câble d'attache des bennes.

Galeries transversales. — Il arrive quelquefois que le tunnel se trouve dans un contrefort escarpé bordant un ravin longé par le chemin de fer; on peut, dans ce cas, au lieu de se servir de puits, ouvrir des galeries transversales

permettant de vider les déblais directement dans les talus du ravin (*fig.* 121), ce qui procure une exécution plus rapide, moins coûteuse et facilite les conditions d'aérage.

FIG. 121.

L'usage des puits occasionne bien des sujétions ; leur établissement exige parfois des épuisements onéreux et une ventilation qu'on effectue ordinairement au moyen de manèges à chevaux et souvent d'une locomotive, selon l'importance des travaux. Toutes ces installations augmentent considérablement le prix de revient du tunnel et, néanmoins, on est obligé d'y recourir dans l'intérêt de la prompte exécution de l'ensemble de la ligne.

On estime généralement qu'en rocher ordinaire et jusqu'à une longueur de 4 à 500 mètres on ne doit attaquer un tunnel que par ses deux têtes ; au-delà de cette longueur on peut juger suivant les circonstances et d'après la dureté du rocher si on doit recourir à une ou plusieurs attaques intermédiaires.

Éboulements à redouter. — L'exécution de ce genre de travail commande une grande attention et d'importantes précautions, à cause des incertitudes qui l'entourent et des accidents, surtout des éboulements qui, malgré tout, peuvent encore se produire.

On rencontre parfois dans le rocher, paraissant très compact, des délits entre lesquels se trouvent des couches plus ou moins épaisses de terre argileuse. Ces couches se détrempent au contact de l'humidité provenant d'infiltrations et, si elles sont dirigées dans le sens du vide produit par l'ouverture de la galerie, n'étant plus soutenues, elles tombent en entraînant avec elles un éboulement de la masse environnante.

Dans ce cas, au lieu d'enlever immédiatement cette masse éboulée, on s'en sert pour étayer la surface ainsi mise à découvert. On enlève alors successivement, en commençant par le haut, les parties qui ne servent pas d'appui direct, en les remplaçant par des étais reposant sur la partie inférieure de l'éboulement jusqu'à ce qu'on ait obtenu la place nécessaire pour commencer la maçonnerie des piédroits et de la voûte en comblant, s'il y a lieu, les vides laissés derrière ou à la place des étais au moyen de pierres sèches ou d'éclats.

Prix de revient. — M. Sévène établit de la manière suivante le détail de la dépense des cinq opérations qui constituent l'exécution d'un tunnel à deux voies attaqué par ses deux extrémités :

1° *Galerie d'avancement.* — Section : 12 mètres

	Francs.	Francs.
Déblais, 12 mètres à 15 francs.....	180	300
Blindage.....	100	
Frais divers.....	20	

2° *Abatage en grand.* — Section : 15 mètres

Déblais, 15 mètres à 9 francs.....	135	160
Blindage.....	25	

3° *Construction de la calotte*

7 mètres cubes à 50 francs, cintres et parements compris.....	350

4° *Déblais du strauss*

25 mètres cubes à 9 francs.....	225
A Reporter.....	1.035

		Francs.
Report.....		1.035
5° *Construction des piédroits*		
Déblais, 8 mètres cubes à 9 francs.....	72	
Maçonneries, 5 mètres cubes à 25 francs.	125	230
Étais.....	33	
Imprévus.....		35
Total.....		1.300

Nous retrouvons ce prix, et aussi, à très peu près, les quantités de déblais et de maçonneries du type de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée dans une estimation de dépenses de l'infrastructure de la ligne de Paray-le-Monial à Lozanne.

		Francs.
Déblais.....	60m3 »	540
Maçonnerie de parement.....	7 »	490
Maçonnerie ordinaire.....	5 ,50	104
Béton du radier.....	1 »	19
Cintres et boisages.....		65
Plus-value pour mètre courant d'aqueduc.....		45
Écoulements, épuisements et imprévus.....		37
Total pareil.....		1.300

Cette dépense augmente dans des proportions très variables, si on emploie des puits intermédiaires et suivant que ceux-ci sont plus ou moins nombreux; elle peut atteindre, dans des conditions de difficulté moyenne, environ 1.500 francs.

Pour un chemin de fer à une voie, on peut compter 1/4 en moins, soit pour un tunnel attaqué seulement par les deux têtes de 850 à 1.000 francs; et avec un puits intermédiaire de 1.200 à 1.300 francs.

Ces prix qui ne sont évidemment que des moyennes peuvent néanmoins servir de base à des estimations d'avant-projets; mais ils sont, on le comprend, susceptibles d'écarts assez considérables en exécution, soit en plus, soit en moins; ainsi le tunnel de Lamote sur la ligne de Caen, d'une longueur de 2.500 mètres a coûté, le mètre courant..... 964 francs
celui de la Nerthe (ligne d'Avignon à Marseille) 2.200 —
et celui de Saint-Martin-d'Estreaux (ligne de Saint-Germain-des-Fossés à Roanne)..... 2.600 —

Hauteur à laquelle on doit recourir au souterrain. — On peut se demander à quelle cote de hauteur de déblai on doit abandonner la tranchée à ciel ouvert pour recourir à la traversée souterraine.

Un souterrain est le plus souvent précédé et suivi d'une tranchée, au moins d'un côté; quelquefois en effet, comme cela arrive au tunnel de Brossilly, sur la ligne d'Annecy à Aix-les-Bains, on traverse un ravin sur un viaduc et on entre immédiatement dans un tunnel. Ordinairement la tranchée qui précède ou suit le tunnel est ouverte dans un terrain ou un rocher de même nature. Or on a vu que le prix du mètre cube de déblai en tunnel pouvait être estimé à 9 francs ; mais ce prix est diminué considérablement dans une extraction à ciel ouvert, et c'est compter très largement que de le porter à 4 fr. 50. Comme on donne généralement au talus de rocher une inclinaison de 1/2 pour 1, si on appelle h la cote de profondeur de la tranchée, pour une ligne à deux voies, la largeur étant d'environ $9^m,60$ soit 10 mètres, on aura comme prix du mètre courant:

$$4{,}5\left(10+\frac{h}{2}\right)h = 45h + 2h^2.$$

Si on fait l'égalité entre cette expression et le prix moyen donné ci-dessus pour le tunnel, suivant les divers procédés d'attaque, soit 1.500 francs, on aura :

$$2h^2 + 45h = 1.500;$$

et, pour la valeur de h, environ $18^m,50$ comme cote d'équilibre des dépenses.

Mais plus généralement on entre en souterrain à une cote inférieure, afin de diminuer le cube à abattre au-dessus du niveau de l'extrados et régler plus facilement les talus qu'on serait, d'autre part, obligé de soutenir, dans des terrains ordinaires, au moyen de mur de soutènement en prolongement des piédroits du souterrain.

Têtes de souterrains. — Les souterrains se trouvant, la plupart du temps, éloignés des villes ou autres centres habités, il n'est pas nécessaire, et ce serait même une dépense

complètement inutile, de donner à la maçonnerie des têtes un aspect architectural. Il convient de rester dans la simplicité qui est le principe même de la construction des chemins de fer.

La figure 122 représente le type adopté dans la roche dure par la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. En terrain

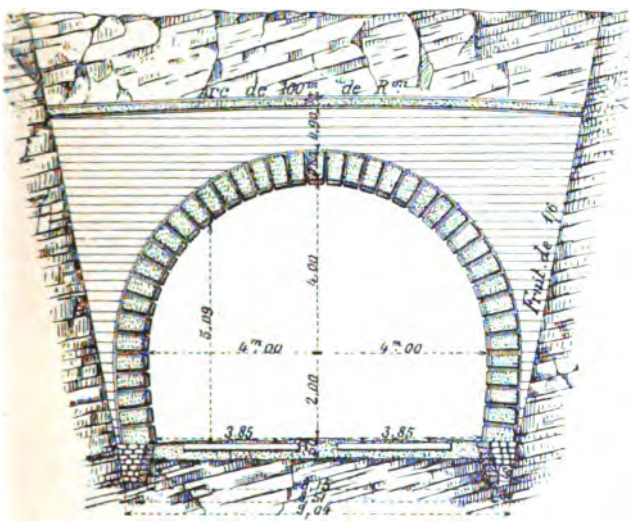


FIG. 122.

ordinaire, la face du tympan peut être la même; il n'y a de différence que dans les talus aux abords et dans le raccordement des murs de soutènement formant les murs en aile de la tête.

Élargissement à deux voies. — On a vu, lors de l'établissement de la plateforme, que pour les lignes faites d'abord à une voie il est plus avantageux de construire les souterrains immédiatement pour deux voies, quand on prévoit qu'une deuxième voie sera posée dans un avenir plus ou moins rapproché.

L'épure ci-dessous (*fig.* 123) indique l'élargissement, correspondant à la deuxième voie, d'un tunnel à voie unique. Ce profil, en effet, rend difficile et coûteuse l'exécution de

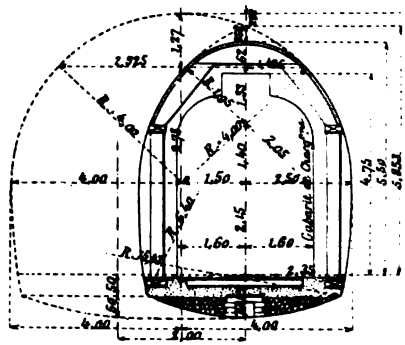


Fig. 123.

cette deuxième voie, quand elle devient nécessaire, surtout à

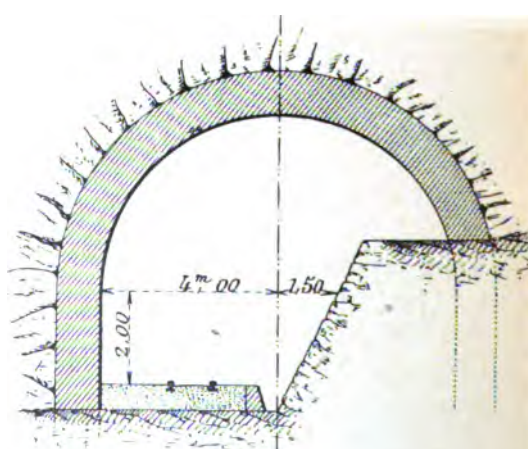


Fig. 124.

cause de la gêne et des sujétions qu'elle occasionne, si on ne veut pas interrompre la circulation sur la voie existante.

Si on ne veut pas construire d'abord complètement le tunnel pour deux voies, on donne alors au profil une forme comme celle indiquée au croquis ci-contre (*fig.* 124) se prêtant facilement à un élargissement ultérieur. On ne fait qu'un seul piédroit en déblayant l'emplacement d'une voie et appuyant la voûte, de l'autre côté, sur le rocher formant le deuxième piédroit provisoire. On peut, dans ces conditions et à une époque quelconque, exécuter, sans nuire à la circulation, l'élargissement pour la deuxième voie et l'achèvement des maçonneries de la voûte et du piédroit correspondant.

Ce procédé a été employé avec beaucoup de succès par M. Siegler, ingénieur, au tunnel de Midreveaux (ligne de Gondrecourt à Neufchâteau) (*Annales des Ponts et Chaussées* de 1886, 2e semestre).

Principaux souterrains. — Parmi les principaux souterrains existant en Europe, on peut citer ceux de :

	Mètres.
Lioran (ligne d'Arvant au Lot), d'une longueur de.	2.000
Montplaisir (ligne de Brive au Lot).....	2.400
Hommarting (chemin de fer de Strasbourg).....	2.780
Rilly (embranchement de Reims).....	3.300
Credo (ligne de Lyon à Genève).....	3.900
Blaisy-Bas (ligne de Paris à Dijon).....	4.000
La Nerthe (ligne d'Avignon à Marseille).....	4.600
Mont-Cenis (ligne de Modane à Turin).....	12.220

Souterrain du Mont-Cenis. — Nous dirons quelques mots de ce dernier ouvrage, certainement le plus important qui ait été construit, dans le genre, tant au point de vue de la longueur, que des difficultés et des dépenses auxquelles il a donné lieu. Il joint l'Italie à la France, à travers la chaîne des Alpes ; la tête sud débouche dans la vallée de la Dora, à Bardonnèche (Piémont), et la tête nord dans celle de l'Arc, affluent de l'Isère, à Modane (ancienne province de Savoie).

Le corps du souterrain est en ligne droite, et les deux extrémités sont en courbe ; mais, pour faciliter la percée, il a été néanmoins exécuté entièrement en ligne droite entre deux fausses têtes, distantes de 12.220 mètres, qui ont été

abandonnées après l'achèvement des raccordements des extrémités avec les lignes française et italienne.

La cote d'altitude de la tête côté Modane est de.	1.202m,82
Celle de la tête côté Bardonnèche est de	1.335 ,38
Soit une différence de.....	132m,56

On aurait pu régler le profil en long, de manière à obtenir une pente uniforme partant d'Italie, qui eût été d'environ 11 millimètres ; mais cette disposition n'aurait pas permis pour le côté italien, au fur et à mesure de l'avancement, de se débarrasser des eaux, à moins d'exécuter des travaux d'épuisements difficiles et dispendieux. C'est pourquoi on a donné, à partir du centre, une pente vers les deux têtes, ce qui a surélevé d'environ 3 mètres le point central, par rapport à la tête italienne (*fig.* 125).

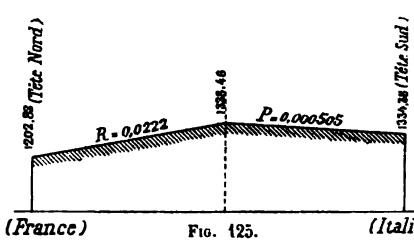


Fig. 125.

Le profil définitivement adopté a donc été :

A partir de Modane (tête nord), rampe de 0m,0222 sur 6.110 mètres.....	135m,64
Pente de 0m,000505 sur 6.110 mètres	3 ,08
Différence comme ci-dessus....	132 ,56

Le croquis ci-contre (*fig.* 126) représente le profil de la voûte.

Les diverses couches rencontrées dans ce travail en partant de Modane étaient disposées dans l'ordre suivant:

Anthracite sur une longueur de.....		1.500
Quartzite	—	500
Calcaire.	—	3.000
Calc-schiste	—	7.000

Et ne présentaient pas, sauf la couche du quartzite, relativement peu étendue, une dureté exceptionnelle. Néan-

Souterrain du Mont-Cenis

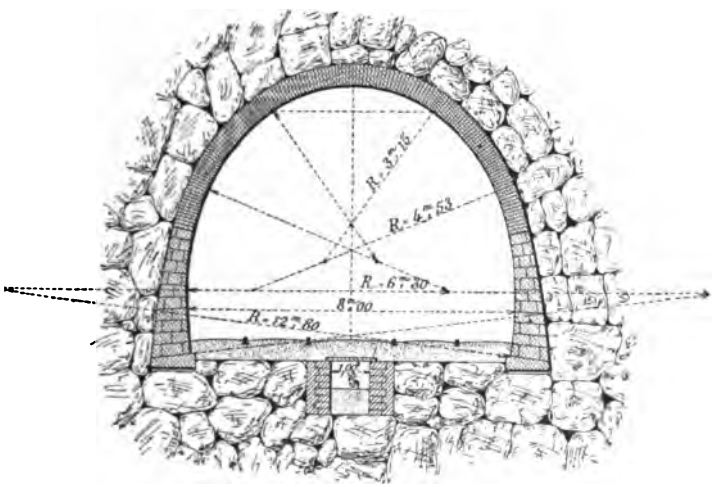


Fig. 126.

moins, il ne fallait pas songer à employer les moyens ordinaires ni à faire des attaques intermédiaires au moyen de puits, à cause de la hauteur de la montagne et des neiges qui en recouvrent à peu près constamment le sommet, ce qui aurait nécessité des forages de plus d'un kilomètre de profondeur à certains endroits. Il a fallu, à cause de cela, recourir à des procédés plus actifs.

C'est le Gouvernement italien qui a fait exécuter les travaux avec le concours financier de la France. Ce travail gigantesque, après avoir subi des crises difficiles menaçant d'en compromettre l'exécution, a été terminé par MM. Gran-

dis et Grattoni, ingénieurs italiens, avec la précieuse collaboration d'un ancien agent de l'entreprise, M. Sommeiller, originaire de la Savoie, ancien élève de l'université de Turin. C'est, en effet, à l'intelligence, on peut dire au génie de M. Sommeiller, qu'on doit les moyens de perforation et d'aérage qui portent son nom et le placent dans un rang honorable parmi les ingénieurs français. M. Sommeiller a utilisé la chute des torrents pour produire l'air comprimé à l'aide duquel il actionnait les perforateurs et les ventilateurs des galeries d'avancement; ce dernier travail surtout constituait la partie la plus délicate de l'opération.

M. Sommeiller avait installé, à chaque front de galerie, 8 à 10 perforateurs qui perçaient chacun 10 trous de mine en six heures, soit 600 trous ; le bourrage de la mine, l'explosion et le nettoyage de la galerie demandaient quatre heures. L'avancement dans ces conditions a été d'environ $2^{m},50$ par jour. Enfin, on peut dire que, grâce à l'habile direction de M. Sommeiller, ce travail gigantesque, commencé en 1858, a été terminé en 1871, soit après treize ans. Il n'a pas été donné à M. Sommeiller, qui a néanmoins vu la fin de son œuvre, de jouir de son succès et d'en voir le couronnement : il est mort quelques jours avant l'inauguration qui en a été faite le 16 octobre 1871.

On trouvera les détails complets sur les procédés d'exécution de cet ouvrage et sur le perforateur Sommeiller, dans un rapport de M. Conte, inséré aux *Annales des Ponts et Chaussées* de 1863.

Souterrain du Saint-Gothard. — On a fait depuis cette époque une autre percée des Alpes, entre la Suisse et l'Italie sur la ligne de Zurich à Milan : le Saint-Gothard, d'une longueur de 14.900 mètres. Les procédés employés ont été à peu près les mêmes que pour le tunnel du Mont-Cenis, sauf quelques détails dans les machines-outils. L'emploi de la dynamite, substituée à la poudre ordinaire, a donné un avancement plus rapide qui a été de $4^{m},50$ par jour. Ce travail colossal, entrepris en 1873 et terminé en 1881, a coûté 57 millions, soit 3.800 francs le mètre courant.

Le compte rendu en a été fait par M. Batisse, dans les

Annales des Ponts et Chaussées de 1875 et la *Revue générale des chemins de fer* de 1878-1882.

Souterrain d'Arlberg. — Il existe aussi sur la ligne d'Arlberg, entre l'Autriche et la Suisse, un tunnel de 10.270 mètres mettant en communication les chemins de fer du Sud de l'Autriche avec ceux de la Suisse orientale, à travers le massif des montagnes du Tyrol. Cet important travail a été exécuté en quatre ans, de 1880 à 1884, ce qui correspond à un avancement journalier d'environ 9 mètres. La dépense s'en est élevée à 40 millions, soit environ 4.000 francs le mètre courant (*Revue générale des chemins de fer*, 1881-1885).

Comparaison des procédés d'exécution. — M. Bridel, ingénieur en chef du Saint-Gothard, a publié, dans les *Annales des Ponts et Chaussées* de 1883, une note dont on a extrait les renseignements suivants sur les procédés d'exécution des grands tunnels, et dans laquelle il dégage cette conclusion que : « Pour les tunnels qui doivent être exécutés avec une grande rapidité, la méthode par galerie à la base est plus économique que celle par galerie en calotte. »

Au tunnel du Mont-Cenis, la galerie a été ouverte à la base : le souterrain a été livré neuf mois après la rencontre des deux galeries.

Au Saint-Gothard, il a fallu vingt-deux mois après la jonction des deux galeries en calotte, pour permettre le passage des trains.

A l'Arlberg, l'avancement du battage au large a suivi l'avancement en galerie pratiquée au niveau de la plateforme, à la même distance qu'au Mont-Cenis.

L'avantage au point de vue des chargements et des transports appartient sans conteste au système de la galerie de base. Les conduites d'air et d'eau pour les besoins de la perforation mécanique et de la ventilation s'établissent beaucoup plus aisément dans la galerie de base que dans la galerie en calotte, et n'exigent pas ces déplacements qui résultent du changement fréquent des pentes de raccordement de la galerie supérieure et de la plateforme.

Il en est de même en ce qui concerne l'écoulement des eaux de suintement qui n'a pu être réalisé au Saint-Gothard

qu'au moyen d'un caniveau spécial construit à la mine sur le côté de la galerie en calotte.

Quant à la ventilation, les résultats obtenus à l'Arlberg avec la galerie de base sont bien supérieurs à ceux réalisés au Saint-Gothard avec la galerie en calotte, et montrent qu'il est possible d'aérer les chantiers avec une grosse conduite et une faible pression ($0^{atm},2$), dans des conditions beaucoup plus satisfaisantes qu'on a pu le faire au Saint-Gothard avec une petite conduite et une forte pression (6 atmosphères), tout en dépensant la même force motrice.

ACCIDENTS SUR LES CHANTIERS

En général, l'exécution des travaux de chemins de fer se fait en rase campagne ou assez loin des centres offrant quelques ressources. Il arrive donc assez souvent que ces travaux, malgré les précautions prises dans l'installation des chantiers et leur direction, occasionnent des accidents aux ouvriers pour lesquels il est alors assez difficile de se procurer la visite immédiate d'un médecin.

Boîtes de secours. — Il est bon, dans ce cas, de mettre à la disposition du chef de section, qui doit en tenir une à proximité de chaque chantier important, plusieurs boîtes de secours dites *boîtes pharmaceutiques*, contenant ce qu'il faut pour faire un pansement sommaire. Ces boîtes pourraient être composées d'un flacon d'éther, — alcali ou ammoniaque liquide, — acide phénique, — eau-de-vie camphrée, — eau sédative, — extrait de Saturne, — vinaigre ordinaire, — pommade camphrée, — un rouleau de bandelettes de toile fine, — de la charpie, — de la ouate hydrophile, — du sparadrap ou diachylon, — une paire de ciseaux, — et encore quelques paquets de 40 grammes d'acide borique (dose pour 1 litre d'eau bouillante).

Soins à donner aux ouvriers blessés avant l'arrivée du médecin. — Nous croyons utile de compléter ces indications par quelques notions sommaires *sur les premiers soins à donner aux ouvriers blessés sur les chantiers avant l'arrivée du*

médecin et de renvoyer pour les renseignements plus complets au volume l'*Hygiène* de la Bibliothèque du Conducteur.

Lorsque, par suite d'un accident, un ouvrier est blessé, la première chose à faire est d'isoler le blessé et de le placer sur un brancard ou un matelas dans un endroit bien aéré, à l'abri du froid et de l'humidité.

En attendant le médecin qui devra être prévenu immédiatement, on procédera de la manière suivante à l'administration des soins qui devront varier selon la nature des accidents.

§ 1er. — PERTE DE CONNAISSANCE, SYNCOPE, ASPHYXIE. — Lorsqu'un blessé a perdu connaissance, il faut l'étendre sur le dos, la face exposée au grand air, desserrer ses vêtements, lui laver la figure avec de l'eau froide simple, ou légèrement vinaigrée, débarrasser la bouche, les narines et les yeux des corps étrangers qui pourraient obstruer ces ouvertures, donner à respirer du vinaigre et de l'éther, asperger la figure avec de l'eau froide, au besoin frictionner la région du cœur avec de l'eau-de-vie camphrée. Si la perte de connaissance est due à une hémorragie, on doit arrêter le sang le plus promptement possible.

S'il y a asphyxie (*absence de respiration*), il faut porter sous le nez du blessé un flacon d'éther et même d'ammoniaque, frictionner longtemps et fortement les membres avec de l'eau-de-vie camphrée et une flanelle chaude. S'il y a asphyxie après immersion ou descente dans une fosse mal aérée, faire la traction rythmée de la langue et, s'il est possible, avoir un ballon d'oxygène pour inhalations.

§ 2. — PLAIES. — On nettoie les plaies récentes, afin d'enlever les corps étrangers qui peuvent s'y trouver, avec de l'eau bouillie refroidie (car on n'a pas ou presque jamais de l'eau très pure) ou avec de l'eau phéniquée à 1 0/0 ou de l'eau *boriquée* à 4 0/0.

Si la plaie a son siège à la tête ou à la poitrine, on y applique des compresses d'eau préparée comme ci-dessus avec de la ouate hydrophile ; si elle existe à un des membres, on place celui-ci, autant qu'on le peut, dans la position la plus convenable pour que la plaie ne soit pas béante ; on la maintient fermée à l'aide de taffetas gommé, de bandelettes de

diachylon, ou bien on la recouvre avec une compresse d'eau froide boriquée que l'on maintient avec une bande.

Si la plaie est compliquée de l'introduction d'un corps étranger, comme un fragment de bois ou de fer qui a pénétré dans les chairs, *on en fait l'extraction*, si elle peut avoir lieu *sans tiraillement* ou *sans écoulement de sang ;* autrement, on le laisse dans la plaie jusqu'à l'arrivée du médecin, en ayant soin de mettre le blessé dans la position la plus commode et la moins douloureuse.

§ 3. — Hémorragie ou perte de sang. — Quand le sang coule en grande abondance d'une plaie, que le blessé pâlit et paraît en danger de mort, il n'y a pas de temps à perdre. Il faut porter rapidement un ou plusieurs doigts dans la plaie, sur le point d'où jaillit le sang et y exercer une compression suffisante pour l'arrêter. Si la disposition des parties le permet, on saisit et l'on comprime, entre le pouce et les autres doigts, les chairs d'où s'échappe le sang. Pour les bras et les jambes la compression est plus facile à pratiquer : on serre fortement, avec une longue bande de toile, le membre blessé à côté de la déchirure et sur la partie tenant au corps.

Quand le sang est arrêté, ce dont on s'assure en enlevant la main ou les doigts, on applique de la charpie sèche, des compresses et une bande assez fortement serrée, surtout au-dessus de la plaie.

§ 4. — Crachement ou vomissement de sang. — Ce symptôme survient à la suite d'une blessure à la tête ou d'une contusion à la poitrine ; dans ces deux cas on applique au siège de la contusion des compresses d'eau froide ou d'alcool camphré, s'il n'y a pas écorchure, et l'on fait boire quelques gorgées d'eau froide ou légèrement vinaigrée.

§ 5. — Luxation des membres. — Quand un membre est démis, on le place dans la position la plus commode pour le blessé, et on applique sur les jointures lésées des compresses d'eau boriquée à 4 0/0, d'eau sédative, s'il n'y a pas écorchure, ou encore d'alcool camphré s'il se manifeste une légère enflure.

§ 6. — Foulures, entorses. — Dans ces deux cas on met le membre dans un seau d'eau froide pendant une heure envi-

ron, en renouvelant l'eau de temps à autre; on peut aussi appliquer sur l'endroit malade des compresses comme ci-dessus ou encore d'eau salée, vinaigrée, ou additionnée d'un vingtième environ d'eau de Saturne.

§ 7. — Fractures. — Quand un os est cassé, s'il n'y a pas de plaie, on doit maintenir le membre dans l'immobilité la plus complète en attendant le médecin.

Si la fracture est compliquée de plaie avec issue d'un ou plusieurs fragments d'os, on essaie de les faire rentrer en tirant légèrement, d'une manière régulière, sur chaque extrémité du membre et en sens opposé; puis, on le maintient en place à l'aide d'un mouchoir ou d'une bande.

1° Pour le bras on le met en écharpe en l'appliquant contre la poitrine qui sert de point d'appui;

2° Pour les membres inférieurs, quand un seul est fracturé, on l'attache solidement à la jambe saine, ou bien encore on applique à son côté externe une attelle ou planchette que l'on maintient à l'aide de bandes ou de mouchoirs.

§ 8. — Fractures compliquées. Membres broyés ou arrachés. — Lorsqu'un membre a été broyé, séparé complètement ou presque complètement du corps, l'accident immédiat le plus à redouter, c'est l'hémorragie qu'il faut arrêter au plus vite (V. § 3).

Si le membre est séparé complètement, on l'éloignera des regards du malade; s'il tient encore, on le laissera attaché, quand même le lambeau serait de peu d'étendue.

§ 9. — Coup de tampon, éboulement, chute. — Quand la tête, la poitrine, le ventre, les membres sont pris entre deux tampons ou sous un éboulement à la suite d'une chute, il peut en résulter perte de connaissance, crachement de sang, fracture des côtes et des membres, cas prévus ci-dessus; il faut se reporter à ce qui a été dit pour chaque cas particulier.

§ 10. — Brûlures. — Une partie brûlée, à quelque degré, pour quelque cause que ce soit, doit être recouverte d'une couche de coton hydrophile, imprégné de liniment oléo-calcaire phéniqué ou à défaut d'un mélange d'huile d'olives et d'eau phéniquée à parties égales et bien agité avant l'emploi,

ou encore d'une compresse enduite d'une couche épaisse de pommade camphrée, si la brûlure est superficielle et n'a pas mis les chairs à découvert.

§ 11. — CONDUITE A TENIR ENVERS LES BLESSÉS. — 1° Il importe de conserver le plus grand sang-froid auprès des blessés ; se garder de toute précipitation dans les soins à donner et ne pas manifester par des paroles ou par des gestes l'impression fâcheuse que l'accident peut faire éprouver ;

2° On ne doit pas laver les plaies avec l'urine, l'eau salée ou autre substance ; l'eau seule doit être employée ;

3° Il faut éviter tout tiraillement dans le cas de blessures graves ; on ne doit enlever les vêtements au blessé que lorsqu'il y a nécessité absolue ;

4° Il ne faut jamais achever de détacher un lambeau de chair, quelque mince que soit la partie qui le retient au reste du corps ;

5° En cas de foulure, entorse, luxation des membres inférieurs, et sauf les cas spéciaux définis au § 7, pour les fractures avec issue d'os, il faut éviter de faire marcher le blessé, se garder de toute traction, massage et autres attouchements sur le membre affecté ;

6° Lorsqu'il y a hémorragie, il faut éviter de placer le blessé dans un lieu chaud, de lui faire prendre aucune boisson chaude ni spiritueuse, comme vin, bière, eau-de-vie ou liqueurs ; l'eau froide, simple ou légèrement sucrée, en petite quantité, doit suffire dans tous les cas ;

7° Un blessé ne doit prendre aucun aliment avant l'arrivée du médecin.

Ces instructions, tout incomplètes qu'elles sont, doivent suffire aux personnes étrangères à la médecine, et il leur est expressément recommandé de ne pas aller au delà.

CLOTURES

L'article 4 de la loi du 15 juillet 1845 stipule que :

« Tout chemin de fer sera clos des deux côtés et sur toute l'étendue de la voie. L'Administration déterminera, pour

chaque ligne, le mode de cette clôture et, pour ceux des chemins de fer qui n'y ont pas été assujettis, l'époque à laquelle elle devra être effectuée. »

En exécution de cette loi le Cahier des Charges général des grandes Compagnies contient un article 20 ainsi conçu :

« Le chemin de fer sera séparé des propriétés riveraines par des murs, haies vives ou toute autre clôture dont le mode et la disposition seront autorisés par l'Administration sur la proposition de la Compagnie. »

Haies vives. — Pour prévenir, autant que possible, les actes de malveillance venant du dehors et aussi l'introduction des bestiaux sur les voies, le mode de clôture le plus convenable et le plus solide est encore la haie vive en aubépine, ou épine noire, ou bien une palissade en charpente de $1^m,30$ de hauteur environ, comme on en voit aux abords de certaines gares. Mais ce dernier système, appliqué à toute la longueur de lignes en exploitation, conduirait à des dépenses trop considérables et certainement hors de proportion avec le but à atteindre.

Pour établir une clôture en haie vive, il faut compter environ 0 fr. 40 par mètre courant, y compris entretien, piochage annuel dans les premières années et ensuite, en plus, élagage ou remplacement de pieds manquants. De plus, la haie vive devant suivre les sinuosités du terrain, remonter les talus aux abords des ouvrages d'art, on compte une moyenne de 1.200 mètres par kilomètre, soit pour les deux côtés une longueur totale de 2.400 mètres.

Les plantations se font généralement en février ou mars avec des brins d'aubépine, disposés quelquefois en quinconce et espacés, de $0^m,08$ à $0^m,10$ dans une petite rigole de $0^m,15$ à $0^m,20$ de largeur et d'égale profondeur, creusée à $0^m,50$ en arrière de la limite des emprises, pour tenir compte du développement ultérieur de la haie.

Une haie vive pousse lentement et, pour qu'elle puisse former une clôture convenable, il faut compter sur dix à douze ans. Sur la ligne de Strasbourg à Bâle par exemple, les clôtures en aubépine ont acquis en moins de dix ans un développement considérable.

Les clôtures ne sont pas absolument défensives, au sens propre du mot, par rapport aux propriétés voisines, et leur maintien n'a fait l'objet d'aucun engagement spécial lors des enquêtes, à moins toutefois pour le rétablissement d'un mur de clôture d'une propriété importante. On les considère plutôt ordinairement comme une limite.

Il est arrivé que certains propriétaires, dans des pays de pâturages, voulant profiter de l'établissement du chemin de fer pour se clore et s'affranchir ainsi de la garde de leurs bestiaux, ont fait, au sujet du manque ou de l'insuffisance de clôtures, des réclamations à la Compagnie ou à l'État. Mais par une décision du 24 mai 1859, le Conseil d'État, siégeant au Contentieux, a repoussé le principe de ces réclamations

Clôtures sèches. — L'État a seul le droit de déterminer le mode de clôtures que les Compagnies sont tenues d'établir le long de leurs voies. Pour cela divers types de clôtures sèches ont été expérimentés, soit pour défendre et protéger les haies vives en attendant qu'elles aient acquis un développement suffisant, soit qu'on les destine à remplacer elles-mêmes ces haies :

Clôtures en treillage à la mécanique fixées et soutenues par des poteaux espacés de 1m,20 à 1m,30;

Clôtures composées d'échalas en chêne, châtaignier ou bois dur, reliés par des fils de fer à des lisses fixées à des poteaux, comme ci-dessus;

Clôtures constituées par deux ou trois lisses en bois fixées directement sur des poteaux;

Et, enfin, clôtures en fils de fer, tendus au raidisseur, remplaçant les lisses en bois et fixés sur des poteaux.

Prix de revient. — L'expérience a démontré que ces clôtures sèches, bien conditionnées, pouvaient durer dix ans; leur prix varie entre 0 fr. 45 et 0 fr. 75 le mètre courant. Si on y ajoute le prix de revient d'une haie vive, quand on emploie ce mode de clôture, on arrive à un prix moyen de 1 franc qui représente, par conséquent, d'après la longueur kilométrique indiquée ci-dessus, une dépense totale de 2.400 francs. Cela constitue, comme on le voit, une dépense assez considérable qui vient s'ajouter aux frais géné-

raux de premier établissement; elle peut se justifier sur les lignes principales, à grande circulation, mais il n'en est pas de même sur les lignes secondaires ou celles qui restent à construire aujourd'hui.

Dispense de clôtures. — Une loi du 27 décembre 1880 a modifié, à ce sujet, celle du 15 juillet 1845 :

« ARTICLE 1er. — Par dérogation à l'article 4 de la loi du 15 juillet 1845 sur la police des chemins de fer, le Ministre des Travaux publics pourra, sur tout ou partie des chemins de fer d'intérêt général en construction ou à construire et des lignes d'intérêt local qui ont été ou qui seront ultérieurement incorporées au réseau d'intérêt général, dispenser de poser des clôtures fixes le long des voies ferrées et des barrières mobiles à la traversée des routes de terre, toutes les fois que cette mesure lui paraîtra compatible avec la sûreté de l'exploitation et la sécurité publique;

« ART. 2. — Les dispenses accordées dans ces conditions n'auront qu'un caractère provisoire, le Ministre des Travaux publics conservant le droit de prescrire à toute époque, et lorsqu'il le reconnaîtra nécessaire, l'établissement de clôtures fixes et de barrières mobiles sur les lignes ou portions de lignes ci-dessus désignées. »

En Normandie et en Bretagne il existe un certain nombre de lignes sur lesquelles il n'a pas été établi de clôtures.

Il convient toutefois d'excepter de cette dispense :

Les abords des gares et stations sur une centaine de mètres de chaque côté;

Les abords des passages à niveau sur une longueur d'au moins 25 mètres;

Les traverses des villes, villages ou autres lieux habités;

Le long des chemins latéraux quand ceux-ci se trouvent situés à plus de 1 mètre au-dessus ou à moins de 1 mètre en contre-bas du niveau des voies;

Et, en général, à la crête des tranchées et à tous les points pouvant présenter des causes de danger pour le public.

En Angleterre, comme en France, les lignes de chemins de fer sont toutes closes, soit par des haies, soit par des clôtures sèches. Dans les pays voisins, les clôtures n'existent pas par-

tout ; en Amérique, aux États-Unis, les chemins de fer ne sont pas clos.

Types de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. — Les clôtures de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée sont exé-

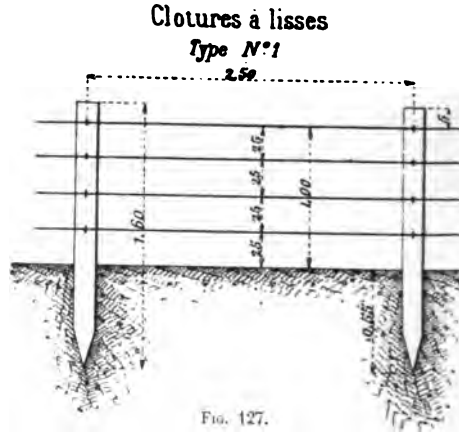


Fig. 127.

cutées suivant quatre types distincts désignés ci-après, savoir :

1° Clôtures courantes ;

2° Clôtures aux abords des passages à niveau ;

3° Clôtures des cours et trottoirs des stations ordinaires ;

4° Clôtures des gares dans le voisinage des villes.

Les *clôtures courantes* (type n° 1) sont formées de pieux en chêne ou en châtaignier reliés par quatre lisses en fil de fer galvanisé n° 19 de $0^m,0039$ de diamètre (*fig.* 127).

Les pieux doivent avoir $1^m,60$ de longueur, ils sont enfoncés de $0^m,55$ dans le sol et espacés de $2^m,50$ d'axe en axe ; leur section est ordinairement celle d'un cercle, d'un demi ou d'un quart de cercle ayant au moins $0^m,28$ de pourtour (*fig.* 128).

Les quatre lisses sont espacées de $0^m,25$; la lisse inférieure est placée à $0^m,25$ du sol, de manière à donner à la clôture une hauteur de 1 mètre ; elles sont fixées à chaque pieu au moyen de crampons en fer à double pointe et tendues par des raidisseurs ; elles s'enroulent à leurs extrémités sur des pieux

inclinés dans le sol de façon à présenter une résistance suffisante. Le prix du mètre courant est d'environ 0 fr. 45.

Les *clôtures des abords des passages à niveau* (type n° 2, *fig.* 129) sont formées de pieux de chêne ou de châtaignier et de treillis en lattes de même bois fendues de droit fil et reliées entre elles par une triple lisse en fil de fer tordu et par de minces lattes horizontales en bois de mêmes essences.

Fig. 128.

Les pieux ont 1m,50 de longueur ; leur section est la même que celle des pieux du type n° 1 ; ils sont espacés régulièrement de 2 mètres d'axe en axe et enfoncés dans le sol à une profondeur de 0m,55.

Type N°2

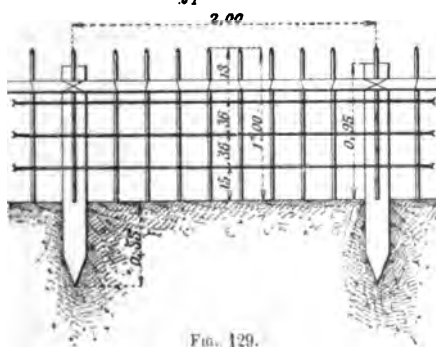


Fig. 129.

Les treillages sont en lattes de 1 mètre de longueur, ayant de 0m,03 à 0m,05 de largeur sur 0m,011 à 0m,013 d'épaisseur, parées à la plane et affûtées en pointe à leur extrémité supérieure.

Il entre 8 lattes dans 1 mètre courant de clôtures ; elles sont reliées entre elles par trois lisses formées d'un double fil de fer n° 13 de 0m,002 tordu régulièrement. La lisse supérieure est placée à 0m,13 en contre-bas de la pointe des lattes, et chacune des deux autres à 0m,36 de distance en dessous,

de manière que la dernière se trouve à 0m,15 du sol que les lattes affleurent par leur base.

Les treillages sont fixés contre les pieux au moyen de trois pointes de 0m,05 de longueur, quand les lattes se trouvent au droit des pieux, et, dans le cas contraire, au moyen de deux crampons par chaque lisse de fil de fer. Ils sont, en outre, consolidés au moyen d'une mince latte horizontale en bois placée au-dessus de la lisse en fil de fer tordu. Cette latte analogue aux lattes verticales est reliée à chacune d'elles par une simple attache en fil de fer recuit n° 9 de 0m,0014 de diamètre embrassant également la lisse en fer ; l'attache est double aux extrémités de chaque latte horizontale ; une attache double en fil de fer recuit n° 13 les relie à chaque poteau.

Le prix du mètre courant de ces clôtures est d'environ 0 fr. 60.

Les *clôtures des cours et des trottoirs des stations ordinaires* (type n° 3, *fig.* 130) sont, de même, formées de pieux en

Type N°3.

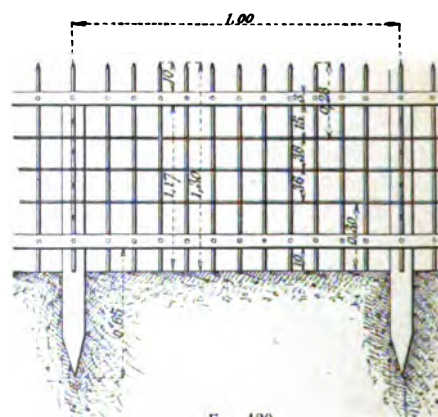


Fig. 130.

chêne ou en châtaignier et de treillages en lattes de même bois.

On donne aux pieux une longueur de 1m,82 ; leur section, de même forme que celle des pieux des clôtures précédentes,

doit présenter un pourtour de 0m,30 à 0m,32. Ils sont espacés de 1 mètre d'axe en axe et enfoncés dans le sol à une profondeur de 0m,65. On a soin de noircir au feu la partie à enterrer, et la tête est recoupée, s'il y a lieu, après l'enfoncement, de manière à ce qu'elle présente une surface horizontale sans fente ni écrasement.

Les lattes composant le treillage ont 1m,30 de longueur, de 0m,03 à 0m,035 de largeur et 0m,011 à 0m,013 d'épaisseur ; elles sont, comme celles de la clôture n° 2, parées à la plane et affûtées en pointe à leur extrémité supérieure.

Il entre 12 lattes dans chaque mètre courant de clôtures ; elles sont reliées entre elles comme au type n° 2, par trois lisses en fil de fer recuit n° 13. La lisse supérieure est de 0m,28 à 0m,30 en contre-bas de la pointe des lattes, et chacune des autres à 0m,35 ou 0m,36 de distance, en dessous de manière que la lisse inférieure se trouve ainsi à 0m,29 ou 0m,30 du sol.

Les treillages sont fixés contre les pieux au moyen de quatre pointes en fer et consolidés : à leur partie supérieure, par deux lattes formant moises clouées et rivées sur chacune des lattes verticales à 0m,10 en dessous de la pointe à l'affleurement de la tête des pieux ;

A leur partie inférieure, par une autre latte ou sous-lisse, clouée et rivée également sur chaque latte verticale à 0m,10 au-dessus de leur extrémité inférieure.

Le prix du mètre courant de clôture de ce type est d'environ 1 fr. 40.

Les *clôtures des gares dans le voisinage des villes* (type n° 4) sont formées de pieux et de palis en bois de chêne ou de châtaignier de bonne qualité (*fig.* 131).

Les pieux sont espacés régulièrement de 2 mètres d'axe en axe ; ils ont 1m,80 de longueur et sont enfoncés en terre d'environ 0m,76 de manière à conserver 1m,04 au-dessus du sol. Leur section est la même que pour ceux de la clôture du type n° 3.

Les palis sont espacés de 0m,10 d'axe en axe et disposés de manière qu'il s'en trouve un sur chaque pieu ; ils sont ordinairement en bois scié de 1m,30 de longueur, 0m,04 de largeur et 0m,02 d'épaisseur ; la partie enfoncée dans le sol, noircie au feu préalablement, est de 10 centimètres, de

manière à former une clôture de 1m,20 de hauteur ; la partie supérieure est taillée en pointe sur 0m,04.

Les palis sont reliés entre eux au moyen de trois cours de fil de fer galvanisé n° 20 de 0m,0044 de diamètre encastrés

Type N°4

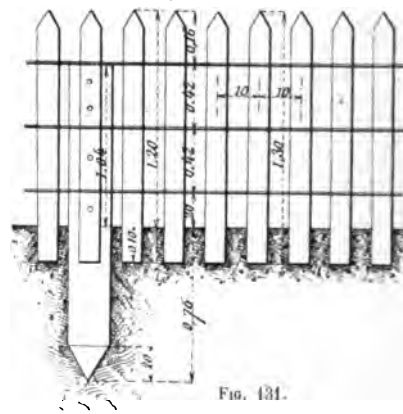


Fig. 131.

dans les pieux auxquels ils sont fixés au moyen de crampillons en fer n° 18 de 0m,0034 de diamètre.

Le cours supérieur est à 0m,16 de la pointe des palis, sur la tête des pieux ; les autres à 0m,42 en dessous de façon à laisser environ 0m,20 entre le dernier et le niveau du sol. Les palis qui se trouvent au droit des pieux y sont fixés par quatre pointes de 0m,05 de longueur. Une couche de peinture est généralement donnée à ces clôtures après exécution.

Le prix des clôtures de ce type est d'environ 3 francs le mètre courant.

Haies fruitières. — On a essayé sur certaines lignes de faire des clôtures de haies fruitières, dans l'espoir de retirer des récoltes une compensation aux dépenses d'établissement et d'entretien.

Ces haies étaient formées d'arbres à fruits : pommiers, poiriers, pêchers, selon les terrains, disposés en cordons horizontaux ou obliques palissés sur une clôture sèche com-

posée de piquets, de fils de fer et d'une lisse en bois (*fig.* 132).

Ce système est beaucoup plus coûteux que celui des haies ordinaires, à cause du prix des arbres, d'abord, de la nécessité d'avoir une palissade pour les soutenir et les protéger jusqu'à leur complète croissance et aussi des soins annuels de taille et de culture qu'ils nécessitent ultérieurement.

D'autre part, les récoltes à en attendre sont quelque peu

Haies fruitières.

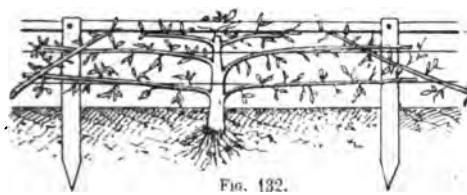


Fig. 132.

problématiques ; il est même assez rare que, de loin en loin, une bonne récolte puisse couvrir les seuls frais d'entretien. Dans les pays de pâturages, par exemple, ces haies sont broutées par les bestiaux ; les jeunes pousses et les fleurs partiellement détruites ; dans d'autres endroits, les fruits sont l'objet de vols, n'étant pas, comme dans les vergers en plein champ, défendus par des haies ou des clôtures limites.

L'insuffisance ou l'incertitude des résultats obtenus, dans ces circonstances, par ce système, n'a pas répondu aux espérances qu'on avait pu en concevoir. Aussi a-t-il été à peu près complètement abandonné en pleine voie ; à peine peut-on l'employer aux abords des gares ou des passages à niveau, à cause de la surveillance dont il est constamment l'objet.

Cette première partie sera terminée par une note donnant les dépenses kilométriques de l'infrastructure de plusieurs lignes de chemin de fer, sur les divers réseaux, envisagées par rapport aux divers degrés de difficultés d'exécution.

On peut estimer qu'une ligne, à une ou deux voies, est de construction facile jusqu'à 100.000 francs le kilomètre ; de moyenne difficulté de 100 à 150.000 francs le kilomètre ; et de construction difficile au-dessus de 150.000 francs.

Dépense kilométrique de l'infrastructure de diverses lignes

RÉSEAU	DÉSIGNATION des LIGNES	Longueurs	DÉPENSE KILOMÉTRIQUE				OBSERVATIONS
			Études Personnel Frais généraux	Terrains	Terrassements et ouvrages d'art	Ensemble	
	1° LIGNES DE CONSTRUCTION FACILE						
	A voie unique						
		kilom.	francs	francs	francs	francs	
EST 1	Châtillon à Bar-sur-Seine	32	13.493	23.867	20.486	57.846	
	Châtillon à Chaumont	43	16.307	9.883	32.838	59.028	Ouvrages d'art construits pour 2 voies.
	Lunéville à Saint-Dié	50	11.843	22.195	28.309	62.347	
	Dieuze à Avricourt	22	12.298	14.405	51.845	78.548	
	Reims à Metz	172	23.543	18.708	39.654	81.905	Construit pour 2 voies sur 28 kilomètres.
	Chaumont à Pagny-sur-Moselle	95	21.511	25.292	47.232	94.035	
VENDÉE	La Roche-sur-Yon à Bressuire	86	8.772	14.307	56.436	79.515	
	— aux Sables	37	23.778	14.656	48.667	87.101	
ORLÉANS	Orléans à Malesherbes	58	9.397	18.655	51.982	80.034	Terrassements 37.655 / Ouvrages d'art 14.327 — 51.982
	Tours à Vierzon	104	13.519	25.212	50.229	88.960	

A deux voies

		kilom.	francs	francs	francs	francs
EST	Troyes à Bar-sur-Seine	29	13.077	35.337	29.706	78.210
	Vendenheim à Vissembourg	58	18.985	33.300	51.214	103.499
ORLÉANS [2]	Bourges à Montluçon	100	7.750	20.930	62.189	90.869
	Coutras à Périgueux	75	5.760	24.920	69.132	99.812

2e LIGNES DE MOYENNE DIFFICULTÉ

A voie unique

		kilom.	francs	francs	francs	francs			
EST [1]	Niederbronn à Thionville	95	23.064	31.091	60.246	114.401			
ORLÉANS [2]	Auray à Pontivy	51	6.785	13.039	74.016	93.840	Terrassements	37.682	74.016
							Ouvrages d'art, 2 voies.	36.334	
	Poitiers à Limoges	111	13.793	11.070	75.051	99.914			
	Orléans à Gien	61	17.508	22.377	80.456	120.341	Terrassements	44.948	80.456
							Ouvrages d'art, 2 voies.	35.508	
	Angers à Niort	166	11.789	20.416	112.882	145.087	Terrassements	66.889	112.882
							Ouvrages d'art	45.993	
PARIS-LYON-MÉDITERRANÉE	Epinac aux Laumes	68,4	16.310	17.531	70.275	104.116			
	Nuits-sous-Ravières à Châtillon	36	6.512	20.891	88.158	115.561	Terrassements	56.052	88.158
							Ouvrages d'art, 1 voie	32.106	
	Vougeaucourt à Saint-Hippolyte	26,6	7.068	28.398	81.330	116.796	Terrassements	53.120	81.330
							Ouvrages d'art	28.210	
	Arc-Senans à Franois	27	6.943	24.892	94.824	126.659	Terrassements	47.550	94.824
							Ouvrages d'art, 2 voies.	47.274	
	Chagny au Creusot et Montceau	54	6.488	33.343	88.759	128.590	Terrassements	59.581	88.759
							Ouvrages d'art, 2 voies.	29.178	
	Bourg à Lons-le-Saunier	63	8.816	27.064	94.727	130.607	Terrassements	57.015	94.727
							Ouvrages d'art, 2 voies.	37.712	

[1] Compris dépenses des gares communes.
[2] Non compris dépenses des gares communes.

RÉSEAU	DÉSIGNATION des LIGNES	Longueurs	DÉPENSE KILOMÉTRIQUE				OBSERVATIONS		
			Études Personnel Frais généraux	Terrains	Terrassements et ouvrages d'art	Ensemble			
	2° LIGNES DE MOYENNE DIFFICULTÉ (*suite*)								
	A voie unique								
PARIS-LYON-MÉDITERRANÉE	Chalon-sur-Saône à Roanne.....	kilom. 106	francs 11.676	francs 26.245	francs 101.886	francs 139.807	Terrassements	72.569	101.886
							Ouvrages d'art.....	29.319	
	Dôle à Poligny.....	38,4	7.358	26.222	98.861	132.441	Terrassements	54.081	98.861
							Ouvrages d'art.....	44.780	
	A deux voies								
EST 1	Metz à Thionville et à la frontière....	kilom. 46	francs 8.710	francs 43.852	francs 71.442	francs 124.004			
	Nancy à Gray.....	176	20.185	29.175	106.440	155.800			
FRANCO-SUISSE	Littoral du lac de Neufchâtel	35	15.293	57.954	106.557	179.804	Terrassements	51.350	106.557
							Ouvrages d'art.....	55.207	
ORLÉANS	Poitiers à La Rochelle et Rochefort..	158	6.902	16.054	89.207	112.763	Terrassements	62.113	89.207
							Ouvrages d'art.....	27.094	
	Tours au Mans.....	94	4.440	21.729	92.838	119.007	Terrassements	51.838	92.838
							Ouvrages d'art.....	41.000	

		kilom.	francs	francs	francs	francs			
	Brétigny a Tours	202	8.267	23.792	87.878	119.937	Terrassements Ouvrages d'art	53.779 34.099	87.878
	Nantes à La Roche-sur-Yon	75	12.253	22.947	109.814	145.014	Terrassements Ouvrages d'art	41.214 68.600	109.814[1]
	Savenay à Châteaulin	248	10.141	20.820	118.396	149.357	Terrassements Ouvrages d'art	69.234 49.162	118.396
PARIS-LYON-MÉDITERRANÉE	Chagny à Auxonne	55	17.762	23.633	89.306	130.701	Terrassements Ouvrages d'art	48.042 41.264	89.306

3e LIGNES DE CONSTRUCTION DIFFICILE

A voie unique

		kilom.	francs	francs	francs	francs			
ORLÉANS	Montluçon à Limoges et Aubusson [2]	147	11.783	15.211	132.039	159.033	Ouvrages pour 2 voies sur la ligne principale, 123 kilomètres.		
	Cahors à Libos	51	23.294	48.961	115.496	187.751			
	Tulle à Brive	26	32.231	22.077	148.538	202.846			
	Périgueux au Lot	168	21.256	25.576	172.160	218.994	Pour 2 voies sur 48k,7.		
	Toulouse à Albi	105	14.114	32.657	191.198	237.969	Pour 2 voies sur 21 kilomètres.		
	Commentry à Gannat	54	26.222	25.204	204.130	255.556			
	Arvant au Lot	171	24.643	28.544	229.993	283.180			
PARIS-LYON-MÉDITERRANÉE	Lons-le-Saunier à Mouchard	49	9.078	39.058	113.543	161.679	Terrassements Ouvrages d'art	69.599 43.944	113.543[1]
	La Cluse à Saint-Claude	43,6	13.607	22.431	132.381	168.419	Terrassements Ouvrages d'art	109.063 23.318	132.381
	Lons-le-Saunier à Champagnole	44,3	14.019	17.080	146.661	177.760	Terrassements Ouvrages d'art	90.268 56.393	146.661
	Mouchard aux Verrières	73	9.380	15.576	167.816	192.722	Terrassements Ouvrages d'art	91.029 76.787	167.816
	Saint-Gengoux à Montchanin	23,8	21.172	19.216	179.310	210.698	Terrassements Ouvrages d'art	80.025 99.285	179.310

1 Compris dépenses des gares communes.
2 Non compris dépenses des gares communes.

RÉSEAU	DÉSIGNATION des LIGNES	Longueurs	DÉPENSE KILOMÉTRIQUE				OBSERVATIONS		
			Études Personnel Frais généraux	Terrains	Terrassements et ouvrages d'art	Ensemble			
		kilom.	francs	francs	francs	francs			
PARIS-LYON MÉDITERRANÉE	Champagnole à Saint-Laurent.....	22,6	24.118	14.183	259.159	297.460	Terrassements ..... 143.692 Ouvrages d'art..... 115.467	259.159	
	Saint-Just-sur-Loire à Fraisse-Unieux.	16,1	22.091	27.344	275.671	325.106	Terrassements ..... 102.531 Ouvrages d'art..... 173.140	275.671	
3° LIGNES DE CONSTRUCTION DIFFICILE (*suite*)									
A voie unique									
PARIS-LYON-MÉDITERRANÉE	Firminy à Annonay.....	kilom. 64,9	francs 21.160	francs 42.241	francs 342.234	francs 405.635	Terrassements ..... 135.669 Ouvrages d'art..... 206.565	342.234	
	Lozanne à Paray-le-Monial.....	92,6	42.970	49.823	395.743	488.535	Terrassements ..... 119.510 Ouvrages d'art..... 276.233	395.743	
A deux voies									
ORLÉANS	Moulins à Montluçon.....	kilom. 88	francs 5.020	francs 25.727	francs 153.054	francs 185.301			
	Châteaulin à Landerneau.....	52	14.734	24.011	234.438	273.803	Terrassements..... 104.793 Ouvrages d'art..... 129.040	234.438	

		kilom.	francs	francs	francs	francs		
	Montauban à Rodez	201	14.751	39.045	301.226	358.022	40k,700 construits pour une seule voie.	
	Limoges à Agen [2]	239	22.833	30.590	191.579	245.002		
EST	Gretz à Coulommiers	33	21.646	44.815	249.299	315.760		
	Paris à Mulhouse	363	23.089	56.229	245.838	325.156		
	Blesme a Gray [1]	180	23.418	37.378	271.198	331.994		
FRANCO-SUISSE	Ligne du Val-de-Travers (Les Verrières)	35	15.293	17.199	258.151	290.643	Terrassements 116.650 Ouvrages d'art 141.501	258.151
MIDI	Tournemire au Vigan	61,8	72.730	35.660	329.310	437.700	Terrassements 50.260 Ouvrages d'art 279.050	329.310

[1] Compris dépenses des gares communes.
[2] Non compris dépenses des gares communes.

SUPERSTRUCTURE

CHAPITRE I

VOIE

On entend par **superstructure** d'un chemin de fer l'armement de la plateforme pour permettre la circulation des trains et l'exploitation de la ligne.

Elle consiste dans l'établissement du ballastage, la pose des voies et accessoires et la construction des bâtiments des gares et stations.

La voie se compose principalement de deux files de *rails*, placés parallèlement sur des supports transversaux espacés régulièrement, appelés *traverses*, auxquels ils sont fixés d'une manière invariable, suivant leur forme, soit directement, soit au moyen d'une fourrure intermédiaire appelée *coussinets*, de façon à éviter tout écartement ou déplacement quelconque.

Les rails sont reliés à leurs extrémités, bout à bout, au moyen de deux plaques métalliques boulonnées qu'on nomme *éclisses*, et destinées à assurer la continuité de la voie, qui, sans cela, basculerait et se déformerait au passage des roues des locomotives.

Les traverses ne reposent pas immédiatement sur le sol de la plateforme qui, par suite de l'humidité, se tasserait inégalement et se déformerait trop facilement sous le poids des trains; elles sont encastrées dans une chaussée, appelée *ballast*, qui sert à donner à la voie plus d'élasticité.

Ballast. — Le ballast maintient les traverses en répartissant plus uniformément les pressions qui lui sont transmises

par les autres éléments de la voie et assure à celle-ci la stabilité qui lui est indispensable.

Il doit être, pour toutes ces raisons, perméable, incompressible et, par conséquent, très homogène.

Il se fait ordinairement en sable, gravier ou pierre cassée.

Le sable doit être autant que possible de gros grain et assez régulier, purgé de terre et autres matières étrangères. Le sable fin pulvérulent, alors même qu'il serait très pur, et les parties pouvant passer dans un crible à mailles de 1 centimètre de côté seront rejetés avec soin.

Le gravier doit être composé de cailloux durs, parfaitement purgé de matières terreuses et doit pouvoir passer dans un anneau de 6 centimètres de diamètre.

La pierre cassée doit être également de bonne qualité, dure et à arêtes vives et non friable; elle doit pouvoir passer également à l'anneau de $0^{m},06$.

Quand le ballast proviendra de murgers, pierres ordinairement de toutes natures et de toutes dimensions ramassées depuis longtemps dans les terrains avoisinant la ligne, on ne devra casser que les pierres dont la grosseur est susceptible de donner une cassure franche et vive ; on en exclura toutes les petites pierres trop plates, ainsi que les détritus résultant du cassage.

On emploie quelquefois du sable provenant de dragages en rivière; mais ce ballast offre l'inconvénient de produire pendant les sécheresses, surtout à la vitesse des trains rapides, une poussière, insupportable aux voyageurs, qui accélère l'usure des autres éléments de la voie et provoque une altération rapide des organes des machines.

La Compagnie d'Orléans, sur la ligne d'Angers à Nantes, et la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, sur celle de Moret à Nevers, ont fait des essais de remplacement de la couche superficielle de ballast de sable par une couche de 6 à 10 centimètres d'épaisseur en pierre cassée. Ces essais, autorisés par décision ministérielle, ont donné les meilleurs résultats.

Les rails et les traverses constituent donc les deux éléments principaux de l'établissement des voies et doivent, pour ces motifs, satisfaire à certaines conditions de stabilité,

sur lesquelles nous donnerons quelques détails, en raison des efforts qu'ils ont à supporter et qui sont de trois sortes, savoir:

Efforts supportés par la voie. — Les efforts *verticaux*, dus aux passages des roues des véhicules, qui tendent à faire travailler les rails à la flexion, comme une poutre métallique ordinaire ;

Les efforts *transversaux*, qui agissent sur la voie, soit à l'intérieur, soit à l'extérieur par le contact du rail avec le bandage ou le boudin des roues. Ces efforts résultant du jeu alternatif des bielles, de la construction des machines et de la rigidité plus ou moins grande de l'attelage, autant de circonstances pouvant favoriser un mouvement de lacet du convoi, sont encore augmentés par l'effet de la force centrifuge dans les courbes; ils tendent au renversement du rail et à sa déformation par la torsion en le faisant glisser sous l'action d'un couple autour de la surface d'appui ;

Enfin, les efforts *longitudinaux*, résultant de l'adhérence, et exercés, par conséquent, par les roues motrices remorquant le train, ou produits par l'action contraire des freins qui en arrêtent la marche. Ces efforts tendent à entraîner la voie dans le sens opposé au mouvement.

RAILS

Forme des rails. — Après bien des essais et des tâtonnements, on est arrivé à adopter pour les rails deux formes principales (*fig.* 133) : l'une en forme de double I, dite *rail à double champignon* ; l'autre, aplatie à sa base, dite *rail à patin* ou *rail américain*, car c'est en Amérique qu'il a été d'abord employé, ou, plus généralement encore, *rail Vignole*, du nom d'un ingénieur anglais qui, le premier, en a été le partisan et le défenseur en Angleterre.

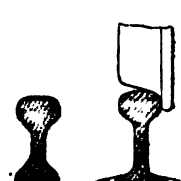


Fig. 133.

On appelle *champignon* les extrémités inférieure et supé-

rieure du rail ; le *patin* est la partie aplatie remplaçant le champignon inférieur et reposant sur la traverse; l'*âme* est la partie comprise entre les deux champignons ou entre le champignon et le patin.

En raison de la conicité du bandage des roues, on a donné une légère courbure ou bombement à la face du champignon supérieur, de façon à augmenter le contact, présenter aux roues une surface de roulement plus large et éviter, par suite des déplacements latéraux résultant du jeu de la voie, une usure rapide de l'arête du rail en contact avec le bandage des roues qui lui-même se creuserait rapidement en forme de gorges ou rainures qui en altéreraient la surface (*fig.* 134).

Fig. 134.

L'inclinaison du raccordement de la surface du champignon du rail avec l'âme constitue ce qu'on appelle l'*épaulement* servant d'appui aux éclisses de joints. Cette inclinaison ne doit pas être arbitraire; si elle se rapproche trop de la verticale du rail, l'éclissage est moins facile, l'éclisse peut glisser et ne soutient plus la partie supérieure du rail ; au contraire, si l'inclinaison se rapproche trop de l'horizontale, le champignon n'est plus soutenu assez efficacement par l'éclisse.

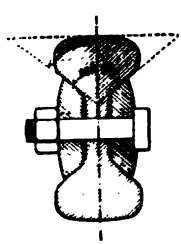


Fig. 135.

Pour que l'éclissage se fasse dans de bonnes conditions, on règle généralement cette inclinaison d'après un angle, variant entre 45 et 65°, formé par la surface d'épaulement et la verticale passant par l'axe du rail, soit un angle total de 90 à 130° (*fig.* 135).

Cet épaulement est symétrique dans les rails à double champignon ; dans le rail Vignole il est un peu modifié, afin d'augmenter la section du patin.

Profils des rails. — Nous donnons, par les figures 136 à 142 ci-après, les profils des rails le plus ordinairement usités sur les principaux réseaux avec les poids correspondants.

Le type n° 142 de rails de 38 kilogrammes du réseau Paris-

Lyon-Méditerranée, dit rail P. M., réservé jusqu'ici aux lignes parcourues par des trains express ou très chargées comme trafic, a été remplacé par le type n° 142 *bis*, dit rail ren-

(*Ouest.* — 38^{kg},7.)

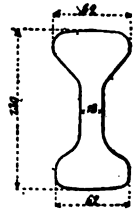


Fig. 136.

(*Orléans.* — 38 kil.)

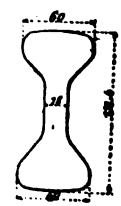


Fig. 137.

(*Midi.* — 37^{kg},6.)

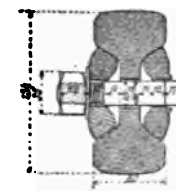


Fig. 138.

(*Nord.* — 30 kil.)

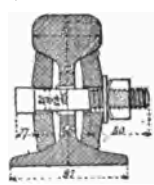


Fig. 139.

(*Est.* — 30 kil.)

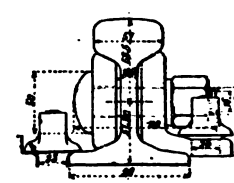


Fig. 140.

(*P.-L.-M. A.* — 34^{kg},2.)

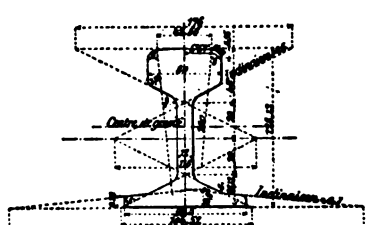


Fig. 141.

(*P.-L.-M.* — 38 kil.)

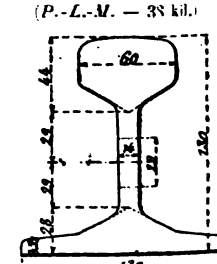


Fig. 142.

forcé L. P., du poids de 48 kilogrammes employé exclusivement sur la grande ligne de Paris à Lyon, dans les parties où la vitesse de marche dépasse 60 kilomètres à l'heure et dans les souterrains mal ventilés ou sur des points d'un entretien difficile.

Les types 141 et 142 *bis* donnent aussi les cotes d'établissement des profils des rails les plus usités actuellement sur le réseau de Lyon.

(*L.-P.* — 48 kil.)

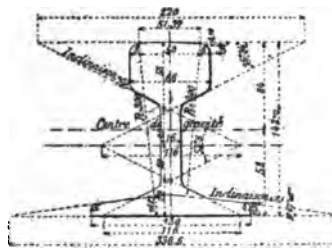


Fig. 142 *bis*.

Poids des rails. — Comme on le voit, les types ordinaires Vignole ne dépassent guère 30 à 34 kilogrammes par mètre courant; les types à double champignon, 37 à 38 kilogrammes.

(*État.* — 40 kil.)

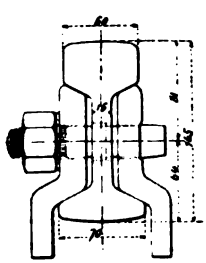


Fig. 143.

(*Orléans.* — 42 kil.)

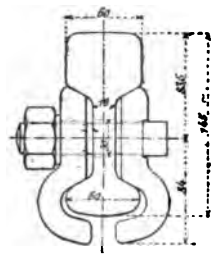


Fig. 144.

(*Ouest.* — 44 kil.)

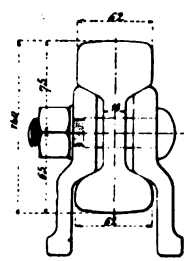


Fig. 145.

Mais les expériences faites, aussi bien à l'Étranger qu'en France, au point de vue de l'accélération de la vitesse des trains, ont démontré la nécessité de renforcer le poids des rails. Ce renforcement, augmentant la rigidité de la voie, diminue par conséquent sa flexion, et conséquemment la fatigue de chaque traverse, en répartissant d'une manière

plus régulière sur les traverses voisines la pression due aux charges roulantes [1].

Aussi, presque toutes les Compagnies ont augmenté le poids de leurs rails et ont adopté des types renforcés que nous

(*Nord.* — 45 kil.)

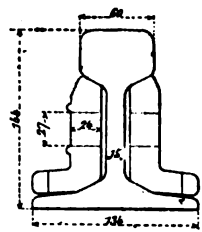


Fig. 146.

(*Est.* — 44 kil.)

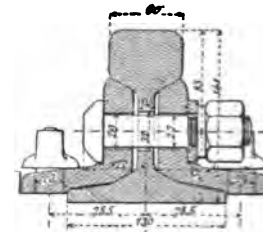


Fig. 147.

indiquons sous les nos 142 *bis* à 147, avec leur mode d'éclissage le plus ordinairement usité.

Longueur des rails. — A l'origine des chemins de fer on donnait généralement aux rails une longueur de 5m,50 et 6 mètres, qui, depuis, s'est augmentée sur tous les réseaux. Il résulte d'une étude faite par M. Daveluy, inspecteur principal à la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, et insérée à la *Revue générale* de juin 1883, que les longueurs adoptées le plus couramment sont actuellement celles de 10, 11 et 12 mètres sur presque tous les réseaux.

Celles de 8 à 9 mètres sont encore usitées sur les voies en service ; l'ancienne longueur de 6 mètres est presque complètement abandonnée.

Les grandes longueurs procurent, en effet, d'abord, une économie de premier établissement en diminuant le nombre des joints et, par suite, le petit matériel qui y est employé ; ensuite, une économie d'entretien, dans la surveillance, le serrage des boulons et le bourrage des traverses; elles donnent, d'autre part, une plus grande stabilité à la voie, en résistant

[1] *Revue générale des Chemins de fer*, mai 1894. Note de M. Bonnet, ingénieur de la construction à la Compagnie de l'Ouest.

mieux aux divers efforts auxquels elle est soumise soit longitudinalement, soit transversalement. Elles offrent, par contre, l'inconvénient d'en rendre la manutention et le coltinage un peu plus difficiles, ce qui exige une légère augmentation des équipes chargées de ce travail et un peu plus d'attention dans son exécution, pour éviter les accidents.

Autres dimensions des rails. — Les autres dimensions des rails, quel qu'en soit le type, varient peu d'un réseau à l'autre, et même à l'Étranger. On admet généralement : une largeur de $0^m,06$ pour les champignons devant résister, surtout le champignon supérieur, à la pression due au passage des véhicules et aussi au frottement du boudin ou mentonnet des roues ; une hauteur totale de $0^m,13$, et pour l'âme une épaisseur variant entre $0^m,016$ et $0^m,020$ pour le rail à double champignon et entre $0^m,012$ et $0^m,015$ pour le rail Vignole ; la largeur du patin dans ce dernier type varie entre $0^m,097$ et $0^m,130$.

Nous donnons ci-après ces différentes dimensions pour les deux types de rails actuellement en usage sur les différents réseaux français et à l'Étranger.

ÉLÉMENTS DES RAILS	DOUBLE CHAMPIGNON					RAIL VIGNOLE							
						PARIS-LYON-MÉDITERRANÉE			NORD		EST		
	ORLÉANS	OUEST	MIDI	ÉTAT	ANGLETERRE	P.-L.-M. A	P. M. 1	L. P. renforcé	ancien	renforcé	ancien	renforcé	ALLEMAGNE
Largeur du champignon inférieur.....	60mm	62mm	61mm	70mm	69mm	106mm	130mm	130mm	97mm	134mm 136 »	99mm	130mm	102mm
— supérieur.....	60	62	61	60	69	60	60	66	56	60	57	60	59
Épaisseur de l'âme.....	18	18	16	16	20	12	14	14	12	15	13 ,5	13 ,5	15
Hauteur du rail.....	132,4 145 »	130 » 140 »	134 »	145 »	138 »	128 ,6	130 »	142 »	125 »	142 » 144 »	120 »	141 »	130 »
Poids par mètre courant.....	38k » 42 »	38k,7 44 »	37k ,6	40 k»	42k »	34k ,2	38k,8	47k ,4	30k »	43k » 45 »	30k »	44k »	35k »
Longueur normale des rails.....	11m,005	8m » 12 »	5m,50 11 »	5m,50 11 »	9m,15	12m »	12m »	12m »	8m » 12 »	12 »	12m »	12m »	8 à 10m

1 Le type P. M. ne se fait plus; on emploie ce qui reste dans les travaux de réfection.

Durée des rails en fer. — Jusqu'à ces temps derniers les rails étaient fabriqués presque généralement en fer; il en existe beaucoup sur des lignes secondaires dont la construction remonte à une vingtaine d'années. La durée de ces rails varie naturellement avec la qualité de la matière qui entre dans leur fabrication et aussi, surtout, avec la circulation et les charges qu'ils supportent. Ce qui fatigue un rail, c'est principalement le passage des locomotives. La Compagnie de Lyon qui, dans l'étendue de son réseau (actuellement à peu près 11.000 kilomètres), en fait la plus grande consommation, a fait cette remarque, consacrée aussi par l'expérience, qu'un rail peut résister au passage de 80 à 90.000 trains.

Ainsi, par exemple, sur une ligne de circulation active, où passent environ 27 à 28 trains par jour, représentant environ une circulation annuelle de 10.000 trains par an, un rail peut ou pouvait durer huit ans.

Sur une ligne à circulation de 5.000 trains par an, soit 14 trains par jour, la durée d'un rail était de seize ans.

Sur une ligne à faible circulation, de 9 à 10 trains par jour, soit 3.000 trains par an, cette durée atteignait jusqu'à vingt-cinq et vingt-sept ans.

Mais, depuis de nombreuses années, surtout depuis que la métallurgie, au moyen des procédés Bessemer et Martin, permet d'obtenir l'acier à des prix très peu différents de ceux du fer, on n'emploie plus que des rails en acier, aussi bien en France qu'à l'Étranger. La ténacité et la dureté de l'acier lui

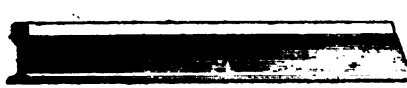


Fig. 148.

donnant sur le fer des avantages appréciables, on ne fabrique plus de rails en fer depuis plus de vingt ans.

Le prix de l'acier varie actuellement entre 150 et 160 francs la tonne.

Les rails sont ordinairement marqués au moment de leur emploi, afin qu'on puisse se rendre compte de leur durée.

On adopte pour ces indications les chiffres romains qui se font plus facilement avec la tranche à froid.

Les inscriptions se font sur l'âme du rail et se disposent, comme à la figure 148, en indiquant d'abord le mois et ensuite la partie courante du siècle et négligeant les siècles passés.

L'indication précédente donne 1-87, c'est-à-dire janvier 1887.

Durée des rails d'acier. — M. Coüard, ingénieur du service des approvisionnements à la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, a publié, dans *la Revue Générale des chemins de fer* [1], une *Note sur la durée des rails d'acier*, d'après les expériences qu'il a faites et qu'il poursuit encore actuellement. Nous en extrayons les constatations et les renseignements suivants:

L'usure régulière est presque nulle ou, tout au moins, sa marche est beaucoup plus lente que celle causée par les détériorations accidentelles, comme cassures, fentes longitudinales, écrasements, etc.

Il faut compter 150.000 à 200.000 trains pour diminuer d'un millimètre la hauteur d'un rail de 39 kilogrammes, posé sur des traverses espacées de $0^m,80$ au maximum; or l'usure peut être poussée jusqu'à 15 millimètres, ce qui n'a rien d'excessif; la durée d'un rail correspondrait ainsi à 2 ou 3 millions de trains, et sur la ligne de Paris à Marseille, où la circulation est de 10.000 trains par an, elle serait de cent cinquante à deux cents ans.

L'acier dur des rails Paris-Lyon-Méditerranée est plus résistant à l'usure que l'acier doux allemand. Le coefficient de résistance, en moyenne, de 1,4 en France, est de 0,7 en Allemagne. L'acier doux, moins carburé, s'allonge et fléchit davantage et s'use plus vite sous le frottement de roulement. Par contre, sur les fortes pentes, à mesure que le frottement de glissement s'exerce davantage, l'acier doux se rapproche de l'acier dur au point de vue de l'usure; il lui devient même légèrement supérieur quand le frottement de glissement remplace complètement le frottement de roulement. Pour cette

[1] juillet 1889.

raison, à l'entrée des gares, les rails en acier doux doivent être au moins aussi durables que les rails en acier dur.

De même, dans les tunnels la rouille use plus rapidement les rails en acier dur que les rails en acier doux. Dans le tunnel de Blaisy-Bas on a constaté que la perte de poids est de 50 0/0 plus élevée avec des rails d'acier dur qu'avec des rails en acier doux.

On peut toutefois estimer à quinze ans la durée moyenne des rails en tunnel.

Influence du rapprochement des traverses. — L'usure croît proportionnellement avec la flèche imprimée aux rails ; il en résulte que ceux-ci s'usent plus lentement si on augmente le nombre des traverses, c'est-à-dire si on diminue l'espacement des points d'appui. En 1883-1885, la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée a ajouté dans certaines sections une ou deux traverses par longueur de rail, ce qui, en effet, a eu pour résultat d'en diminuer l'usure.

Sur les pentes, quand les freins agissent jusqu'à caler les roues, le frottement de roulement est remplacé par le frottement de glissement, et l'usure peut devenir 10 à 12 fois plus considérable que celle constatée dans les cas ordinaires. Près de la gare de Terre-Noire où tous les trains de marchandises serrent leurs freins et où les roues des vagons sont calées, l'usure des rails est produite presque exclusivement par le frottement de glissement. On a constaté avec une circulation de 28 trains par jour que la hauteur du champignon a diminué en moyenne de 8 millimètres en cinq ans ; c'est l'usure la plus grande qui ait été constatée sur le réseau. Près la gare de Melun, en pente de 5 millimètres, où les trains de marchandises qui s'arrêtent dans cette gare serrent tous leurs freins, l'usure a été constatée 2 à 3 fois plus grande qu'en pleine voie.

Toutefois, sur les voies à fortes rampes, l'usure des rails diminue quand le patinage des roues et, par conséquent, le frottement de glissement deviennent moindres (Saint-Michel-Modane, 30 millimètres ; Amplepuis à Tarare, 25 millimètres ; Mouchard-Arbois, 20 millimètres). La section de Saint-Michel à Modane donne l'explication d'une de ces anomalies et montre

que celle-ci est due à la nature du sable jeté par les machines pour augmenter l'adhérence des roues ; le changement du sable effectué en 1882 a eu, en effet, pour résultat d'augmenter cette adhérence et de réduire de 63 0/0 l'usure sur la voie en rampe de cette ligne.

Rails usés dans les gares. — Les rails usés dans les gares étaient autrefois retirés lorsque l'usure atteignait à peine 10 millimètres; l'expérience a démontré qu'ils peuvent rester en place jusqu'à une usure de 15 millimètres dans les gares parcourues en vitesse et jusqu'à une usure de 18 à 20 millimètres dans les gares où les trains s'arrêtent.

Rails usés en pleine ligne. — Les rails retirés en pleine ligne pour cause d'usure proprement dite sont en très faible quantité, et la question de durée des rails d'acier est ramenée à l'étude des rails avariés, c'est-à-dire cassés transversalement, fendus longitudinalement au champignon ou au patin, ou écrasés au champignon.

Variation du coefficient de détérioration (ligne de Paris à Marseille). — D'après les expériences faites en dehors des cas spéciaux d'usure régulière, le coefficient de détérioration [1], maximum au début, décroît rapidement et devient à peu près constant à partir de 50.000 trains; le croquis ci-contre (*fig.* 149) traduit le résultat de ces expériences.

On sait, en effet, que, dans les premières années de pose, les ruptures de rails d'acier sont plus nombreuses, parce que les rails défectueux qui ont pu échapper à l'examen du contrôleur et les rails fendus pendant la manutention ne se décèlent par des cassures qu'après quelques mois de pose.

M. Coüard trouve qu'il faudrait 1.120.000 trains pour détériorer tous les rails de Paris à Marseille et, comme la circulation moyenne de cette ligne est de 10.000 trains par an, il s'ensuit que tous ces rails seraient avariés au bout de cent

[1] On désigne sous ce nom le quotient de la longueur de voie remplacée par 100 kilomètres depuis la pose, divisée par le carré du nombre des trains qui ont passé dans le même temps, le chiffre de 100.000 trains étant pris pour unité.

douze ans, et que leur durée moyenne serait mesurée par les deux tiers de ce chiffre, soit soixante-quinze ans, ce qui correspondrait à 750.000 trains.

Nous avons vu que la durée des rails en fer correspondait à 80 ou 90.000 trains ; la durée des rails d'acier est donc de 8 à 9 fois plus grande.

Pendant cette longue période, les rails sont mis hors

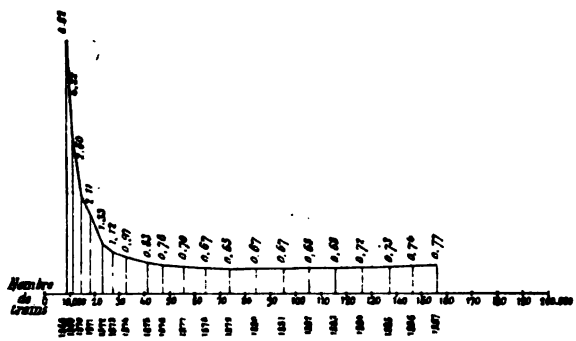


Fig. 149.

d'usage, non par usure régulière, car nous avons vu que cette usure était de 1 millimètre pour 150.000 ou 200.000 trains ; les rails avariés après le passage de 1.120.000 trains ne seront donc usés que de 7 à 8 millimètres, ce qui est encore bien au-dessous, par conséquent, de l'usure de 15 millimètres reconnue possible avant remplacement.

Bien que cette étude n'ait été vérifiée que jusqu'à 200.000 trains environ, soit le 1/5 de la circulation que les rails peuvent supporter, tout, jusqu'à ce jour, semble indiquer qu'elle se vérifiera encore longtemps.

Principales causes de détérioration. — D'après les mêmes expériences, les principales causes de détérioration des rails sont les suivantes :

1° *La température.* — Les expériences faites sur la ligne de Paris à Marseille sur des rails de même type, même longueur et même provenance, ont donné un coefficient de détérioration

à peu près moitié moindre entre Lyon et Marseille qu'entre Paris et Lyon et font voir que la température a une influence à peu près égale sur les ruptures transversales et sur les ruptures longitudinales, comme l'indique le tableau suivant :

SECTIONS OBSERVÉES	PROPORTION POUR 100 KIL.	
	Ruptures transversales	Ruptures longitudinales
De Paris à Lyon (1.043 kil. de rails).....	59	241
De Lyon à Marseille (703 kil.)	30	99
Rapport.....	2	2,4

La différence de latitude entre la section de Paris à Lyon et celle de Lyon à Marseille augmente la durée des rails de cette dernière dans le rapport de 730.000 trains à 1.100.000, soit environ 50 0/0 ; on aurait ainsi :

	Durée moyenne
Section de Paris à Etigny.....	48 ans
— Etigny à Meursault.....	85 ans
— Meursault à Lyon.....	65 ans
— Lyon à Tarascon.....	124 ans
— Tarascon à Marseille.....	116 ans

2° *Le ballast.* — La nature du ballast a une influence marquée sur la durée des rails. La section de Paris à Etigny semble sous ce rapport échapper à la loi énoncée de la constance du coefficient de détérioration, car celui-ci, par exception, augmente ; cela tient à la nature du ballast qui est en sable.

Ce sable a d'abord pour effet, en temps de sécheresse, en s'interposant entre la traverse et le patin du rail, d'user en même temps les deux surfaces en contact; la traverse s'entaille rapidement, mais en même temps l'épaisseur et la largeur du patin diminuent à tel point que, lorsque le champignon du rail est usé à peine de 3 millimètres, soit après

200.000 à 250.000 trains, l'usure du patin en épaisseur est de 4, 5 et jusqu'à 10 millimètres.

De plus, cette usure est inégale et plus forte près du bord intérieur, si la voie est en alignement droit, et la voie se rétrécit par suite de l'inclinaison plus grande du rail ; en courbe, c'est l'effet inverse qui a lieu, et la voie s'élargit.

Le sable agit également sur le champignon du rail ; il s'écrase, se mêle à l'argile et se transforme, sous l'influence de la pluie, en une boue qui est projetée, sous le passage des trains, contre l'âme et le champignon du rail. Cette boue a pour effet de développer dans le champignon des fissures longitudinales qui mettent rapidement le rail hors de service.

Les chiffres suivants mettent en évidence la gravité du mal et expliquent l'augmentation rapide des remplacements dus exclusivement aux fentes longitudinales soit du patin, soit du champignon.

RÉPARTITION DE RAILS ENTRE PARIS ET ÉTIGNY

(264 kilomètres de voie simple)

	ANNÉES		
	1886	1887	1888
Détérioration du champignon			
Fentes longitudinales	239	559	873
Ecrasements			61
Détérioration du patin			
Cassures longitudinales au droit de la traverse	167	139	282
Cassures transversales par le trou du patin.	27	18	161
Cassures transversales en dehors du trou du patin.	31	41	51
Totaux des rails avariés	464	777	1.428

L'emploi d'un ballast en pierre cassée, la pose de selles en acier sur toutes les traverses, la substitution des tirefonds

aux chevillettes et crampons sont les moyens qui paraissent les plus efficaces pour arrêter ce genre de détériorations en pareille circonstance.

3° *Vitesse des trains.* — La nature spéciale du ballast entre Paris et Etigny, en accélérant la détérioration des rails d'acier, met en relief les effets des principaux facteurs de l'usure, à savoir : la vitesse des trains et la pose de la voie.

Les résultats obtenus conduisent aux conclusions suivantes :

1° Quand la voie est à peu près en palier ou quand les pentes et les rampes sont réparties à peu près également, le coefficient moyen de détérioration est sensiblement le même sur les deux voies ;

2° Quand il y a pente ou rampe sur toute l'étendue de la subdivision, la voie en pente donne un coefficient plus élevé que la voie en rampe ; ainsi, pour des pentes moyennes de 2 à 3 millimètres par mètre, atteignant sur quelques points 5 millimètres, le rapport des deux valeurs varie de 2 à 3.

4° *Pose de la voie.* — Les fentes longitudinales des rails d'acier paraissent se produire plus souvent sur certains points de la voie et dépendre de la pose.

Aux passages à niveau, par exemple, les rails fendus au champignon sont plus nombreux qu'en pleine voie, et, sur certaines sections où les fissures du champignon sont très rares, les rails fendus proviennent exclusivement des passages à niveau. Ce qui semble être attribué à la boue du macadam apportée sur les rails par les roues des voitures.

Le nombre et l'emplacement des fentes longitudinales dépendent de l'écartement des traverses, du sens des trains et du profil de la voie en plan. Les fentes longitudinales se produisent surtout au-dessus des traverses voisines du joint et, de préférence, sur la première traverse de contre-joint (*fig.* 150).

En alignement droit la file de l'accotement se comporte différemment de celle de l'entre-voie ; sur cette dernière les fentes se produisent très rarement sur les traverses intermédiaires (7 fois en 1888), souvent sur la dernière traverse

(31 fois en 1888), et plus souvent encore sur la première traverse (100 fois en 1888).

Sur l'accotement l'inégalité entre les traverses extrêmes est moindre; mais, si les fissures ont légèrement diminué au-dessus de la première traverse (85 fois au lieu de 100), elles ont considérablement augmenté d'abord sur la dernière traverse (70 fois au lieu de 31) et sur les autres traverses; en somme, les fissures ont augmenté sur l'accotement de 54 0/0.

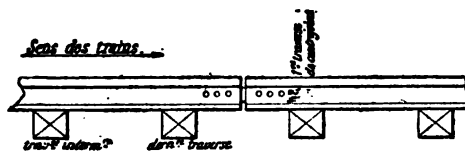


FIG. 150.

L'usure régulière et les ruptures des rails d'acier sont également plus élevées sur l'accotement que du côté de l'entre-voie; l'augmentation est de 25 0/0 pour la première et de 32 0/0 pour les secondes.

La raison de cette inégalité entre les deux files est que le débourrage plus rapide des traverses sur l'accotement amène l'inclinaison du plan de la voie de ce côté et reporte une charge plus grande sur les rails.

En courbe, la surcharge est sur la file du petit rayon, aussi c'est sur cette file que les fissures, qui se produisent toujours en plus grand nombre sur la première traverse, sont les plus nombreuses; l'augmentation est encore plus importante, quand la file du petit rayon est en même temps sur l'accotement.

Sur l'entre-voie le bourrage se maintient généralement bien et paraît suffisant pour empêcher les fissures de se produire sur la dernière traverse.

5° *Déclivités.* — Quand les déclivités ne dépassent pas 5 à 8 millimètres, la courbe du coefficient de détérioration est très voisine de celle qui a été donnée par la ligne de Paris à Marseille.

Quand la déclivité atteint et dépasse 8 millimètres, le coeffi-

cient augmente avec cette déclivité. Ainsi, pour la ligne du Rhône au Mont-Cenis, dont la dixième partie présente, entre Saint-Michel et Modane, une déclivité de 30 millimètres, le coefficient a atteint 18, c'est-à-dire une valeur 21 fois plus élevée que sur la ligne de Paris à Marseille (croquis 149).

Généralement la valeur de ce coefficient reste sensiblement proportionnelle au coefficient théorique, c'est-à-dire constante au-delà de 50.000 trains; c'est ce qui se présente pour les lignes ci-après :

		Coefficient de détérioration
Ligne de Lyon à Genève....	(15 0/0 de déclivités de 15mm).	2.82
— Livron à Privas ..	— —	0.75
— Aix à Marseille....	— —	0.50
— Saint-Germain-des-Fossés à la Bastide	(35 0/0 de déclivités de 15mm).	3.34
— St-Étienne à Lyon	(40 0/0 de déclivités de 15mm / (5 0/0 — 20mm)	3.34
— La Bastide à Nîmes	(20 0/0 — 25mm)	5.63
— Rhône au Mont-Cenis	(10 0/0 — 30mm)	18.11

Sur cette dernière ligne, le coefficient de détérioration a augmenté jusqu'en 1882, pour redescendre en 1887 à 10,52.

On avait constaté, en 1882, que sur une section d'essai en rampe de 30 millimètres, dans le tunnel des Sorderettes, 64 0/0 des rails d'acier étaient hors de service après deux ans et cinq mois de pose, et le passage de 2.000 trains seulement : tous les rails étaient fendus au champignon ; sur la pente, au contraire, aucun rail ne présentait ce défaut. On reconnut que le sable jeté par les machines pour augmenter l'adhérence était la seule cause de cette détérioration. Ce sable provenait de l'Arc près Saint-Jean-de-Maurienne : sa grosseur était irrégulière, il était composé de quartz et de schiste ardoisier; son influence, pour augmenter l'adhérence, était médiocre, car il était jeté en quantité considérable.

A la suite d'inconvénients semblables constatés en Suisse et en Italie, on avait remplacé, dans ces pays, le sable par un jet d'eau chaude qui lavait le rail et donnait aux roues une adhérence suffisante. Ce moyen, en dehors d'une dépense coûteuse, avait, paraît-il, l'inconvénient de ne bien réussir

que dans les alignements droits et de réduire de plus de 7 0/0 la puissance de la machine; c'est pourquoi le Service de la Traction préféra changer la nature du sable qui fut pris aux environs de Valence. Il était formé de grains réguliers de la grosseur de grains de mil, composé de quartz et de feldspaths et plus dur que le sable primitif. L'adhérence que ce sable donna aux machines fut considérablement améliorée, et la diminution des rails remplacés en fut la conséquence : le nombre, qui était de 226 sur 16 kilomètres, en 1881, n'était plus que de 13, en 1887.

Ainsi, quand l'adhérence des roues sur les rails est bonne, ceux-ci ne sont soumis à aucun frottement de glissement, et les fentes longitudinales ne se produisent plus, même en présence du sable jeté par les machines. Il faut en conclure que, pour développer les fissures dans le champignon des rails, la compression du sable contre le rail ne suffit pas; il faut qu'il y ait glissement.

6° *Type des rails.* — En comparant les coefficients de détérioration de différentes lignes de même latitude, posées avec des rails d'acier de types différents, mais de provenance semblable, et sur lesquelles les trains ont des vitesses comparables, on trouve 1,40 comme rapport des coefficients de détérioration des rails P. L. M. et P. M.; le rapport des moments d'inertie de ces rails est de $\frac{1.141}{950} = 1{,}20$, sensiblement plus faible que le chiffre ci-dessus, ce qui tient sans doute à cette circonstance que l'écartement des traverses est plus grand avec la voie P. L. M. A qu'avec la voie P. M.

Ainsi les détériorations de toute nature augmentent quand le rail fléchit davantage.

Les rails de la Compagnie du Nord confirment cette conclusion : des expériences faites sur des rails de 30 kilogrammes du Nord, d'âge à peu près égal à celui des rails de 34 à 39 kilogrammes de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, avec une circulation à peu près comparable, ont donné une proportion de rails rebutés environ 3 fois moindre sur le réseau Paris-Lyon-Méditerranée que sur le réseau du Nord, dont les rails sont plus légers.

7° *Provenance.* — On a remarqué que les rails en acier Martin (relativement plus doux) fabriqués avec une forte proportion de vieux rails donnaient un coefficient de détérioration plus élevé.

M. Coüard arrive à cette conclusion :

A l'exception des tunnels, des fortes pentes, des entrées de gare et de la file extérieure des courbes de très faible rayon, l'usure régulière du champignon des rails d'acier n'est pas à craindre ; les rails seront détériorés avant d'arriver à leur usure limite.

Pour ces cas particuliers, qui ne constituent qu'une *faible* proportion des réseaux, on peut augmenter la durée du rail en augmentant ses dimensions.

Les ruptures transversales, aussi bien que les fissures longitudinales, semblent suivre une loi bien définie : le nombre des rails avariés depuis la pose augmente proportionnellement au carré du nombre des trains que les rails ont supportés.

Ces avaries augmentent avec le tonnage, avec la vitesse, avec la flexion du rail et avec l'abaissement de la température.

Un rail d'acier durera d'autant plus qu'il fléchira moins et que l'acier sera moins sujet aux soufflures ; pour ces raisons l'acier dur doit être préféré à l'acier doux, et il paraît à propos d'employer des rails lourds ; le bas prix de l'acier rend cette mesure facile et profitable, car l'augmentation de durée des rails aura pour conséquence la durée plus grande des traverses et du petit matériel et, par conséquent, la diminution des frais d'entretien.

Enfin, la nature du sable jeté par les machines, pour augmenter l'adhérence des roues, doit être choisie avec soin, car la durée des rails en dépend ; il en est de même du ballast : le gravier et la pierre cassée doivent être préférés au sable fin.

TRAVERSES

Les traverses de chemins de fer sont destinées à assurer l'assiette de la voie, en la maintenant à son écartement normal, et à répartir d'une façon uniforme les pressions que cette voie supporte au passage des trains.

Elles constituent, comme on le voit, un élément très important de la voie; il convient, par conséquent, de leur donner des dimensions suffisantes pour leur permettre de résister aux charges qu'elles ont à supporter.

Dimensions. — Il est nécessaire que les traverses débordent d'au moins $0^{m},50$ de chaque côté du rail pour permettre plus tard le déplacement des coussinets, dans la voie à double champignon, et des selles, dans la voie Vignole, lors des remplacements de voie, et le percement des trous de tirefonds à un nouvel emplacement, afin de mieux assurer la solidité des attaches.

On leur donne généralement une longueur de $2^{m},60$.

D'autre part, elles doivent être assez larges pour fixer et retenir les coussinets ou les selles et présenter une surface d'appui suffisante sur le ballast, afin de mieux répartir les pressions résultant du passage des trains. Leur largeur varie, avec la nature du bois et leur forme, entre $0^{m},20$ et $0^{m},30$.

Quelle que soit, du reste, leur forme, elles doivent, en général, présenter une surface d'appui de $0^{m2},55$ à $0^{m2},60$, car, en supposant le passage d'un essieu de 13 tonnes, cela représente une pression de $2^{kg},4$ environ par centimètre carré transmise au ballast, si la traverse porte régulièrement par tous les points de sa surface. Mais, comme il arrive rarement que le bourrage soit absolument régulier, cette pression peut parfois être doublée et atteindre ainsi, par place, 4 à 5 kilogrammes, ce qui constitue une limite qu'il ne serait pas prudent de dépasser.

L'épaisseur doit être assez forte pour résister à l'effort exercé par les tirefonds servant à l'attache des coussinets ou

des rails ; il faut qu'il reste, après le sabotage ou l'entaillage, assez de bois pour retenir ces attaches. On leur donne généralement de 0,12 à 0,18.

Ces dimensions varient peu d'un réseau à l'autre ; ainsi, les traverses équarries en chêne ou sapin ont ordinairement :

	Longueur	Largeur	Epaisseur
A l'Est	2,55 à 2,75	0,21 à 0,26 sur	0,13 à 0,18
— traverses de joints		0,27 à 0,30 sur	0,13 à 0,18
A l'Orléans	2,50 à 2,70	0,20 à 0,24 sur	0,14 à 0,16
— traverses de joints		0,30 à 0,34 sur	0,14 à 0,16
Au Nord	2,50 à 2,60	0,24 à 0,30 sur	0,12 à 0,14
A l'Etat	2,50 à 2,75	0,20 à 0,24 sur	0,12 à 0,16
Au P.-L.-M	2,60	0,23 à 0,25 sur	0,13 à 0,15
Demi-rondes	2,60	0,20 à 0,23 sur	0,16

Formes. — On donne aux traverses des formes variables suivant la nature des bois employés. Les plus usitées sont celles données ci-dessous (*fig.* 151). C'est la forme rectangulaire qui a été la première adoptée (*fig.* 151[1]) ; elle est encore une des plus usitées actuellement, et c'est bien la plus conve-

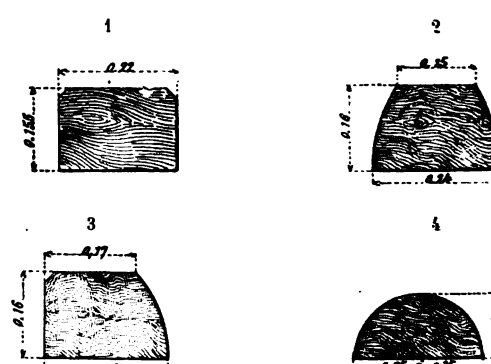


FIG. 151.

nable avec les dimensions moyennes de 0,22 sur 0,155. On adopte aussi la forme trapézoïdale avec parements droits, ou plus ou moins curvilignes sur les faces latérales (*fig.* 151[2]), avec

des largeurs de $0^m,24$ et $0^m,15$ sur $0^m,15$ ou $0^m,16$ d'épaisseur, ou avec un parement droit et un parement curviligne et $0^m,23$ et $0^m,17$ de largeur sur $0^m,16$ d'épaisseur (*fig.* 151[3]).

On admet parfois les traverses demi-rondes, dans une certaine proportion, sur l'ensemble de la fourniture, avec des dimensions de $0^m,25$ à $0^m,35$ de base sur $0^m,12$ à $0^m,18$ d'épaisseur (*fig.* 151[4]).

En tout cas, la face inférieure des traverses doit être à vives arêtes et ne doit présenter ni flâche ni aubier; les faces arrondies ne devront présenter aucune flâche dans le sens longitudinal.

Essence des bois. — Les traverses étant exposées constamment aux influences atmosphériques et à des alternatives de sécheresse et d'humidité, au contact du ballast favorisant plus ou moins le maintien de cette humidité, on comprend dès lors qu'elles sont dans des conditions très défavorables à la conservation des bois en général.

D'autre part, la fatigue, résultant des efforts verticaux et du percement des trous pour la pose et le remplacement des voies, amène promptement une détérioration des fibres du bois et l'usure de la traverse. Pour toutes ces raisons, il convient de choisir dans les bois les essences qui offrent le plus de garantie au point de vue de la résistance et de la conservation.

Sous tous ces rapports, le *chêne* est certainement de tous les bois celui qui, par sa densité et sa conservation, convient le mieux pour la fabrication des traverses et qui, pour l'attache du rail, fournit le plus de solidité.

On sait en effet que le chêne a une propriété spéciale : c'est d'acquérir une très grande dureté à l'air, mais à l'abri de l'humidité, comme dans les charpentes d'une construction, ou bien absolument dans l'eau et privé d'air, comme pieux de fondation en rivière.

Le *hêtre* fournit également de très bonnes traverses; c'est un bois presque aussi dense que le chêne, mais il est moins robuste et se décompose plus vite au contact de l'humidité ou sous l'action des agents atmosphériques.

Le *sapin* et le *pin*, comme bois blancs ou bois tendres, sont

très employés dans quelques régions du Nord et de l'Est ; le pin des Landes fournit d'excellentes traverses.

Le *mélèze* est aussi très fréquemment employé en Suisse et les régions environnantes ; il donne des traverses plus résistantes que le sapin, surtout quand il a crû sur les sommets élevés ; mais il est aussi un peu plus cher, à cause des frais d'exploitation.

Dans certaines régions des Alpes et des Cévennes on fait encore des traverses en *châtaignier*, qui font un excellent service.

On a pendant longtemps employé les traverses, surtout celles en chêne à l'état naturel ; celles-ci étaient alors équarries, afin de les débarrasser de l'aubier, couche de formation récente, contenant des matières azotées qui s'altèrent rapidement et amènent la détérioration de la pièce. Voici, d'après les statistiques faites au Paris-Lyon-Méditerranée [1] la durée moyenne de ces différents bois employés à l'état naturel :

Chêne.....	12 à 16 ans	(confirmée par les statistiques allemandes)
Mélèze.....	9 à 10 —	
Sapin.....	7 à 8 —	
Pin.....	4 à 5 —	
Hêtre.....	2 à 3 —	

Procédés de conservation des traverses. — Au fur et à mesure que, par suite de la construction des lignes nouvelles, la consommation des traverses s'est accrue, on a essayé divers procédés d'injection pour en augmenter aussi la durée. Cette préparation chimique a pour but de remplacer dans les fibres du bois les éléments entraînant la pourriture par des antiseptiques qui sont ordinairement des sels métalliques, comme le sulfate de cuivre ou le chlorure de zinc, ou bien encore la créosote ou huile lourde de houille.

Sulfatage. — On s'est servi d'abord de l'injection au sulfate de cuivre, en vase clos et à haute pression, d'après le procédé Légé-Fleury, qui consiste dans les cinq opérations suivantes [2] :

[1] *Revue générale des chemins de fer*, mai 1893.

[2] Ces renseignements sont extraits de *la Revue générale des Chemins de fer*, de juillet 1892 et mai 1893.

1° Courant de vapeur pour chauffer le bois et chasser l'air;
2° Vide avec la pompe à air;
3° Admission de la dissolution à 80 ou 100°;
4° Pression de 6 à 8 atmosphères pendant trois quarts d'heure;
5° Vidange et défournement.

On a reconnu que cette solution attaquait le métal au contact soit des coussinets, soit des rails, et ne pénétrait pas dans le bois d'une façon uniforme et régulière. D'autre part, dans certains pays du Nord, cette préparation prédisposait les traverses à la gelée, ce qui, par le fait, contribuait à en diminuer la durée.

En Allemagne, on emploie généralement le chlorure de zinc à la dose de 30 à 35 litres par mètre cube d'eau. On compte ordinairement que les traverses en hêtre, pin ou sapin, en absorbent de 26 à 30 litres; et les traverses en chêne, 3 litres seulement. Mais cette solution, étant incolore, ne permet pas de juger du degré de saturation des traverses pendant l'opération. D'ailleurs, les sels métalliques finissent par se laver au contact de l'humidité du ballast, ce qui fait perdre à ces procédés d'injection la plus grande partie de leur efficacité.

Créosotage. — Le procédé le plus généralement employé actuellement, c'est le créosotage. La créosote, ou huile lourde de la houille, coûte beaucoup plus cher, mais elle a l'avantage de ne subir aucun délayage ni aucune altération sous l'action des agents atmosphériques. On a même constaté, en Allemagne et en Russie, que le créosotage augmente la résistance des traverses à la compression, alors que l'emploi des sels métalliques tendrait à la diminuer. La Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée a substitué, en 1876, le créosotage au sulfatage; la durée moyenne des traverses retirées sur tout le réseau a été constamment, depuis ce jour, en augmentant d'environ 50 0/0. Les expériences montrent que les traverses en hêtre sulfatées, qui n'auraient duré que treize ans sept mois, pourraient atteindre par le créosotage une durée probable de vingt et un à vingt-quatre ans.

Le créosotage se fait dans les conditions suivantes :

1° Les traverses sont desséchées préalablement pendant vingt-quatre heures dans des étuves chauffées à 80 ou 90°;

2° Les traverses, introduites au nombre de 60 environ sur 2 vagonnets, dans un cylindre de 6 mètres de longueur et de 1m,60 de diamètre, sont soumises à un vide de 4/5 d'atmosphère ;

3° La créosote, à la température de 60°, est introduite par l'action du vide, et le remplissage du cylindre est achevé par une pression de 6 à 8 atmosphères pendant une heure.

Le cœur de chêne n'absorbe pas une quantité sensible de liquide ; l'aubier, au contraire, peut en recevoir dans une assez forte proportion. Voici, du reste, les doses adoptées par les diverses Compagnies pour les essences de bois les plus ordinairement employées [1] :

Chêne.....		de 5 à 7 kilog. par traverse (refus)	
Hêtre....	Est.....	24	— (refus)
—	P.-L.-M.....	16	—
—	Ouest.....	15 à 16	—
—	Nord.....	13	—
Pin.....	Orléans.....	14	—
—	Midi.....	12	—
—	P.-L.-M.....	12	—

Les Compagnies d'Orléans, de l'Ouest et du Midi achètent leurs traverses créosotées ou les font créosoter à forfait par des entrepreneurs possédant l'outillage nécessaire.

Les Compagnies du Nord et du Paris-Lyon-Méditerranée achètent une partie de leurs traverses toutes créosotées et injectent la plus grande partie de leur consommation dans les chantiers qui leur appartiennent. Le chantier de Villers-Cotterets (Nord) injecte environ 300.000 traverses par an. Les chantiers de Collonges (Côte-d'Or) et de Lyon (Paris-Lyon-Méditerranée) peuvent en préparer environ 8 à 900.000 : 600.000 à Collonges, et 300.000 à Lyon.

La Compagnie de l'Est prépare elle-même tous ses bois dans ses chantiers d'Amagne (Ardennes) et Port-d'Atelier (Haute-Saône). Le chantier d'Amagne peut produire à lui seul environ 500.000 traverses par an.

[1] *Revue générale des Chemins de fer*, février 1895.

Prix de revient. — D'après les observations faites sur le réseau Paris-Lyon-Méditerranée, les prix d'acquisition des traverses, résultant des adjudications annuelles, paraissent aller sensiblement en diminuant depuis 1863; ce qui semblerait indiquer qu'on n'a pas à craindre, au moins quan à présent, une pénurie de bois pour les approvisionnements de traverses.

Nous donnons ci-dessous les prix du chêne et du hêtre pendant les quatre dernières années écoulées avant 1896, comparativement aux années 1863 à 1866.

Les traverses en sapin ne font l'objet d'aucune adjudication spéciale et se paient à peu près normalement de 2 fr. 50 à 3 francs.

Années :	1863	Chêne.....	5f,61	Hêtre.....	3f,35
—	1864	—	5 ,24	—	3 ,38
—	1865	—	4 ,68	—	3 ,46
—	1866	—	4 ,72	—	3 ,31
—	1892	—	4 ,40	—	3 ,00
—	1893	—	4 ,65	—	3 ,10
—	1894	—	4 ,60	—	3 ,00
—	1895	—	4 ,20	—	2 ,85

La dépense de l'injection à la créosote peut se décompter ainsi :

1° **Valeur de la créosote, environ 0f,07 le kilog.**
Soit pour une traverse en chêne à 5 ou 6 kil..... 0f,40
— hêtre ou pin 16 kil. (P.-L.-M.) 1 ,12
— — 24 kil. (Est).... 1 ,68

2° **Autres frais d'injection :** Personnel..... 0f,06
Main-d'œuvre ..... 0 ,09 } 0 ,20
Divers ..... 0 ,05

3° **Transport de la gare de livraison au chantier, manutention et rechargement après l'opération**..... 0f,30 à 0 ,35

Au chantier d'Amagne, ce prix est plus élevé et atteint 0 fr. 70 par traverse, à cause de l'éloignement du chantier de la zone forestière.

A Port-d'Atelier, au contraire, les frais de transport varient de 0 fr. 18 à 0 fr. 37. Nous pensons qu'on peut admettre, en moyenne, 0 fr. 35.

La dépense totale de créosotage peut donc s'évaluer ainsi, suivant les essences :

FOURNITURE et MAIN-D'ŒUVRE	CHÊNE	HÊTRE OU PIN	
	5 à 6 kilog.	16 kilog.	24 kilog.
Créosote.....	0f,40	1f,12	1f,68
Autres frais.....	0 ,20	0 ,20	0 ,20
Transport.....	0 ,35	0 ,35	0 ,35
TOTAUX.....	0f,95	1f,67	2f,23

Le prix de revient des traverses ressort ainsi, à savoir :

Chêne.....	4f,20	+	0f,95	= 5f,15
Hêtre.....	2 ,85	+	1 ,67	= 4 ,52
Pin ou sapin...	2 ,75	+	2 ,23	= 4 ,98

Ces prix ne comprennent pas :

1° Les frais de sabotage mécanique fait ordinairement au chantier. Cette opération revient, au chantier de Collonges, à 0 fr. 75 par traverse en moyenne ;

2° L'étuvage des traverses avant créosotage : par traverse, 5 centimes ;

3° Les frais généraux pour amortissement du matériel du chantier.

Durée des traverses. — Les dates d'emploi des traverses sont généralement indiquées sur chacune d'elles au moyen de clous millésimes permettant de faire à chaque renouvellement le pointage des années de pose.

Nous avons vu, d'après les expériences faites à l'Est, au Paris-Lyon-Méditerranée, sur l'emploi des traverses, que leur durée moyenne peut être évaluée, pour le chêne et le hêtre, entre quinze et vingt-cinq ans et, pour les autres essences, entre douze et dix-huit ans, dans des conditions ordinaires.

Ces chiffres n'ont évidemment rien d'absolu, car on a

reconnu que la plupart des causes qui paraissent accélérer l'usure des rails semblent avoir aussi une influence sur la durée des traverses. Ainsi les observations faites [1] montrent que :

La durée des traverses diminue avec la circulation, c'est-à-dire quand le nombre des trains par année augmente ;

Elle est plus faible sur les pentes que sur les rampes;

Elle peut être réduite de 1/3, et même de moitié dans les courbes de faible rayon;

Elle augmente avec le nombre de traverses posées par kilomètre et avec le poids des rails : les voies lourdes posées sur un plus grand nombre de traverses sont moins coûteuses à entretenir, aussi bien au point de vue de la durée des rails qu'à celui de la durée des traverses ;

Elle varie avec l'essence des bois et le mode d'injection;

Enfin, elle est plus faible dans les pays chauds que dans les pays froids.

L'influence du climat peut réduire dans de notables proportions la durée des traverses. Ainsi la ligne de Tarascon à Cette, posée en pin des Landes créosoté, donne une durée moyenne de neuf ans.

Au réseau du Midi, cette durée est de huit ans neuf mois. Elle diminue en se rapprochant de l'Équateur : en Algérie cette durée est de quatre ans, et au Sénégal de quatre à cinq mois seulement.

Le climat est donc un élément très important de la question de durée des traverses, qui peut, dans certains pays chauds, établir la supériorité des traverses métalliques sur les traverses en bois.

Parmi les autres conditions qui, *a priori*, semblent devoir exercer une influence sur la durée des traverses, se trouvent le ballast et les tunnels ; soit que ces causes d'usure aient eu leur effet masqué par d'autres circonstances, soit que, contrairement à l'opinion reçue, elles aient peu d'action sur la durée des traverses, toujours est-il que les résultats obtenus

[1] Renseignements extraits d'une note de M. Coûard, ingénieur du service des approvisionnements à la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée (*Revue générale des Chemins de fer*, mai 1893).

ne permettent pas de mesurer leur influence. Pour le ballast, il est vrai qu'il est renouvelé ou criblé aussitôt qu'il n'est plus perméable; c'est probablement pour cette raison que la conservation des traverses en bois paraît en dépendre beaucoup moins dans cette circonstance.

Traverses métalliques. — On s'est souvent préoccupé de la question de destruction des forêts par suite de la consommation considérable de traverses qui se fait annuellement, en France, depuis que la construction des chemins de fer y a pris un si grand développement.

On évalue à près de 65.000 kilomètres la longueur totale des voies ferrées en France, y compris voies de garages, ce qui, à raison de 1.200 traverses par kilomètre, nous donne un chiffre d'environ 78.000.000 de traverses. Si on leur suppose une durée moyenne de quinze ans avec le créosotage, cela correspond à un renouvellement annuel de 5.200.000 traverses; en leur attribuant une valeur de 5 fr. 50, on arrive à un chiffre d'environ 28.600.000 francs, dont une forte partie s'en va à l'Étranger.

On voit donc, dans ces conditions, l'intérêt qu'il pourrait y avoir à remplacer les traverses en bois par d'autres présentant des garanties de plus grande durée. C'est ce qui a conduit à l'idée d'essayer l'emploi des traverses métalliques.

M. Auguste Moreau, dans son *Traité de Chemins de fer*, a fait de cette importante question une étude complète et détaillée, de laquelle nous avons extrait la plus grande partie des renseignements que nous donnons à ce sujet.

On a d'abord tenté des essais de pose de voies sur longrines métalliques; mais ils ont été vite abandonnés, par suite de la difficulté de l'entretien, du maintien d'un bourrage complet et régulier du ballast et aussi de l'insuffisance de l'entretoisement des files de rails pour conserver à la voie son parallélisme et la rigidité qui lui est nécessaire pour résister aux fortes charges.

On en est arrivé alors à l'emploi de la traverse en fer.

Les premières études en ont été faites aux forges de Fraisans (Franche-Comté) par M. Vautherin, ingénieur français, qui a donné son nom à un type de traverses usité actuelle-

ment avec quelques modifications (*fig.* 152); et, comme cela arrive presque toujours en France pour les questions industrielles ou financières, c'est à l'Étranger que les essais ont été appliqués pratiquement. Des essais ont été faits, sur une grande échelle, à la suite de l'Exposition de 1867, en Autriche-Hongrie, en Hollande, en Belgique, en Suisse, et surtout en Allemagne où la proximité des centres métallurgiques semble expliquer la faveur que les traverses métalliques y ont obtenue, alors que les Compagnies françaises ne paraissaient guère empressées d'en faire usage.

FIG. 152.

Les usines métallurgiques de tous les pays qui avaient naturellement un grand intérêt à la vulgarisation de l'emploi des traverses métalliques firent une certaine agitation autour de cette question.

En 1884, il fut même question d'ouvrir à Saint-Étienne, notre grand centre métallurgique, une exposition du matériel des chemins de fer où la place d'honneur serait réservée aux différents types de traverses métalliques. Mais la dépense de cette entreprise étant considérable, on dut se décider à attendre l'Exposition de 1889.

Les maîtres de forges belges firent, de leur côté, une grande agitation en faveur de la question des traverses métalliques et écrivirent au Ministre « que les résultats obtenus en Belgique sont dus à ce que les inventeurs de traverses qui ont été essayées se sont attachés à fournir une traverse ne coûtant guère plus, avec ses accessoires, que la traverse en bois et, par suite, en ont réduit les dimensions à tel point qu'elle n'a pu résister aux efforts qu'elle avait à supporter. Or il faut abandonner l'idée d'avoir une bonne traverse métallique au même prix qu'une bille en bois ; c'est la durée plus longue du métal qui fournit la compensation. »

De pressantes démarches furent faites également auprès du Gouvernement français et des grandes Compagnies pour expérimenter des essais sur une vaste échelle.

Ces essais furent tentés au chemin de fer de l'Est, au

Nord, puis plus tard en 1891, au Paris-Lyon-Méditerranée, ligne de la Pauline à Hyères sur 1 kilomètre, et ligne de Valence à Moirans sur 2.350 mètres; et le Ministre des Travaux publics (M. Baïhaut) faisait poursuivre, de son côté, des essais sur le réseau de l'État. M. Bricka, ingénieur en chef de la Voie et du Matériel de ce réseau fut, à ce sujet, chargé d'une mission à l'Étranger, en Allemagne, en Suisse, en Belgique et en Angleterre et conclut, dans son rapport, à la supériorité de la traverse métallique sur la traverse en bois et au succès de son avenir.

Après des corrections au type primitif, on est arrivé aujourd'hui à installer de bonnes voies et d'une grande solidité sur traverses métalliques. Mais les résultats qu'on a obtenus en Europe n'ont pas encore fourni des éléments suffisants pour servir de base à un jugement définitif. La comparaison des prix varie nécessairement avec les pays, surtout si l'on se trouve plus ou moins rapproché d'un centre de production de bois ou d'un centre métallurgique.

Le succès de la traverse métallique a été plus accentué sur le réseau Paris-Lyon-Méditerranée algérien.

Ces traverses, du type Vautherin modifié, ont $2^{m},40$ de longueur, $0^{m},26$ de largeur à la base et $0^{m},099$ de hauteur; la largeur de la tablette est variable ; elle est de $0^{m},130$ pour les traverses de joint et de $0^{m},080$ pour les traverses courantes; l'épaisseur de la tablette supérieure est de $0^{m},007$, et le poids moyen de la traverse de 35 kilogrammes.

Le rail du type Vignole Paris-Lyon-Méditerranée est fixé à la traverse par le procédé primitif Vautherin au moyen de clavette et prisonnier, comme l'indique le croquis (*fig.* 153).

L'inclinaison du rail est obtenue au moyen de selles en forme de coins, interposées entre la traverse et le patin. Le plan de pose comporte en moyenne une traverse par mètre courant de voie.

Les résultats observés en dix-sept ans sur 100.000 traverses ont été les suivants :

L'ensemble des remplacements a été de 3 1/2 0/0 ; chaque année, on ne remplace donc que 3 millièmes environ des traverses en fer, tandis que, sous ce climat chaud, il faut remplacer environ 1/10 des traverses en bois. Par suite de cette

inégalité de remplacement, les traverses métalliques ont à leur quinzième année compensé le surcroît du prix de premier établissement. Le surplus de leur durée est donc un bénéfice net acquis à l'entretien.

On compte que, vu leur état actuel de conservation, les

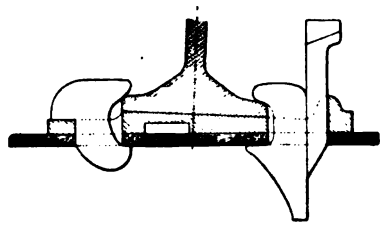


Fig. 153.

traverses métalliques du réseau algérien atteindront aisément vingt-cinq à trente ans de services.

Les causes de remplacement sont surtout les fentes dans la partie supérieure, aux angles, ou les fentes partant de l'extrémité de la traverse vers la portée du rail. Ces fentes peuvent, d'ailleurs, être attribuées aussi bien à la qualité inférieure du fer ou au bourrage insuffisant ou incomplet du ballast qu'à la fatigue de la voie.

Le réseau de l'État fait usage d'une traverse métallique dont le croquis est ci-contre (*fig.* 154). C'est à très peu près le type Post.

La traverse a 2m,50 de longueur, 0m,23 de largeur intérieure et une hauteur de 0m,080 ; la tablette supérieure a 0m,137 et une épaisseur de 0m,009 ; les branches latérales ont des épaisseurs de 0m,008 et 0m,007, et sont terminées par un bourrelet destiné à augmenter la résistance de l'arête inférieure de la traverse et à empêcher celle-ci de couper le ballast et de s'enfoncer sous la charge des trains.

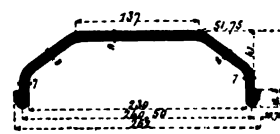


Fig. 154.

Le rail employé par le réseau de l'État étant du type à

double champignon est fixé sur la traverse au moyen d'un coussinet, comme au croquis ci-dessous (*fig.* 155). Ce mode d'attache semble moins fatiguer la traverse que celui adopté pour le rail Vignole.

Cette traverse coûte 9 fr. 30 environ ; et le prix du coussinet, du poids de 12^{kg},36, est d'environ 1 fr. 30.

Le réseau de l'État a environ 250 kilomètres de voies posées avec traverses métalliques qui donnent d'excellents résultats.

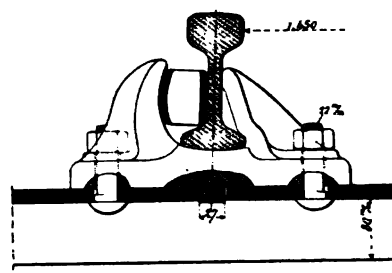


Fig. 155.

Mais il est difficile néanmoins de se prononcer sur leur supériorité qui paraît, jusqu'ici, incontestable pour les climats chauds où la température élevée ne se prête pas à la conservation du bois.

Dans les conditions normales, on manque d'éléments de comparaison sur leurs avantages, étant donné le peu de durée des essais entrepris jusqu'alors, et la fatigue que ces traverses ont à supporter sur des lignes dont le trafic est relativement peu considérable.

En résumé, il semble résulter des nombreuses observations faites à ce sujet que :

Au point de vue technique, les deux traverses en bois et en fer sont équivalentes ;

Au point de vue économique, cela dépend évidemment des prix du fer et du bois dans la région considérée.

Si les traverses métalliques sont plus chères comme acquisition, la main-d'œuvre d'entretien est moindre et la durée plus grande que pour les traverses en bois, surtout dans

les pays chauds ; on peut encore dire ici, d'une façon à peu près générale, qu'il y a équivalence entre les deux systèmes.

Avantages des traverses métalliques. — Les deux traverses rivales seront encore employées longtemps et concurremment sur les voies ferrées ; mais, étant donné l'abaissement progressif du prix de l'acier et les perfectionnements qu'apporteront certainement les inventeurs, résultat des observations et d'une pratique un peu plus complètes, on peut prédire avec certitude que la traverse métallique paraît être la solution de l'avenir.

ACCESSOIRES DE LA VOIE

Coussinets. — Dans le système de la voie à double champignon les rails reposent sur les traverses par l'intermédiaire des coussinets. C'est une pièce ordinairement en fonte moulée présentant une partie inférieure parfaitement plane et régulière servant d'appui sur la traverse et percée de trous pour le passage des tirefonds destinés à la fixer à cette dernière.

Le coussinet est muni de deux lèvres ou mâchoires, d'inégale hauteur, ayant entre elles une cavité de la forme du champignon du rail pour loger celui-ci et le coin destiné à assurer la fixité et la rigidité de la voie (*fig.* 156 et 157, type Orléans). La lèvre extérieure du coussinet est un peu évasée, pour permettre l'introduction du coin destiné au serrage du rail contre cette mâchoire, et la lèvre intérieure est un peu moins élevée afin de ne pas être atteinte par le boudin de la roue. Comme on le voit, le contact n'est pas absolument complet entre le rail et le coussinet ; ce dernier tient le rail par trois points principaux : la lèvre intérieure allant jusqu'à l'épaulement du champignon supérieur, la cavité intérieure correspondant au patin ou champignon supérieur, et enfin par la partie extérieure au moyen du coin qui le serre contre l'autre lèvre.

Par suite de la conicité du bandage des roues, le rail n'est pas placé verticalement, mais suivant une inclinaison de 1 20 environ, qui est obtenue soit par le coinçage du rail dans

le coussinet, soit par une légère inclinaison ménagée dans la disposition de la cavité intérieure de celui-ci ; mais la surface

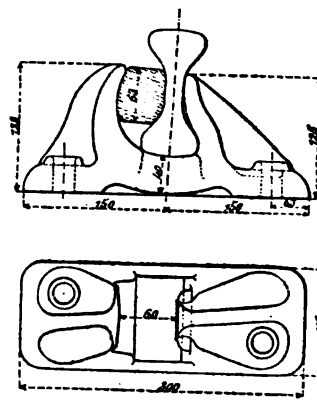


Fig. 156.

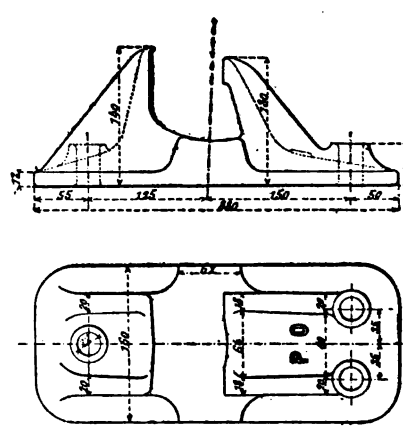


Fig. 157.

d'appui sur la traverse doit toujours rester horizontale.

On donne généralement aux coussinets une longueur de $0^m,30$ sur $0^m,11$ à $0^m,12$ de largeur, ce qui représente une

surface d'appui de 330 à 350 centimètres carrés. Nous avons vu, à propos des traverses, que celles-ci ont à supporter au passage d'un essieu de 13 tonnes un effort de 6.500 kilogrammes transmis par le coussinet ; cela donne, par conséquent, pour celui-ci, une pression de 20 kilogrammes environ par centimètre carré, qu'il ne conviendrait guère de dépasser.

Quant au poids des coussinets, il a été jusqu'à ces derniers temps de 9 à 10 kilogrammes en moyenne. Mais, depuis que les divers réseaux employant le rail à double champignon ont augmenté le poids de la voie dans de notables proportions, en suite d'expériences faites également sur le réseau anglais pour l'accélération de la vitesse, on a dû augmenter aussi le poids des accessoires.

Le nouveau type de coussinets renforcés de l'Orléans, de 0m,38 de longueur sur 0m,16 de largeur, pèse	18kg,6
Celui de l'Ouest, de 0m,35 sur 0m,14, pèse	16 ,2
Celui de l'État, de 0m,32 sur 0m,14, pèse	16 ,0
Celui du Midi pèse	14 ,2

On a augmenté, par conséquent, la surface d'appui de façon à diminuer les pressions sur les traverses et, par suite, l'usure des fibres résultant du frottement.

Coins. — Les coins sont destinés à assurer le serrage des rails contre la partie intérieure des mâchoires des coussinets. On les a fabriqués jusqu'à présent en bois dur, généralement en chêne parfaitement débarrassé de son aubier, sec et sans nœud. On leur donne ordinairement 0m,25 à 0m,30 de longueur, 5 à 6 centimètres à la tête, et 4 à 5 à l'autre extrémité (*fig.* 158).

Le prix est généralement de 100 francs le mille.

Sur les réseaux de l'Ouest, du Midi et de l'État, on a expérimenté depuis quelques années un système de coins métalliques (système David), qui donnent d'excellents résultats. Ils se composent d'une

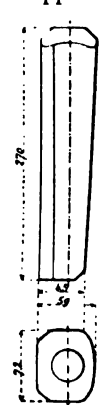
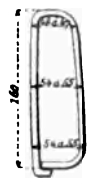


FIG. 158.

lame d'acier repliée sur elle-même et formant ressort entre le rail et la mâchoire du coussinet (*fig.* 159). D'après les constatations qui en ont été faites au réseau de l'État, ces coins se maintiennent longtemps sans se desserrer, et il semble qu'ils contribuent à augmenter la rigidité de la voie, en diminuant la flexion des rails entre les traverses, au moment du passage des machines.



Tirefonds, crampons et chevillettes. — Les crampons et chevillettes, qui servaient jusqu'alors à fixer les attaches des coussinets ou des rails Vignole sur les traverses, ont été généralement remplacés par des tirefonds galvanisés dans les poses de voies nouvelles. Néanmoins, on les emploie encore dans certains réseaux, notamment au Paris-Lyon-Méditerranée, pour l'entretien des voies sur les lignes secondaires ou à faible circulation (*fig.* 160).

Fig. 150.

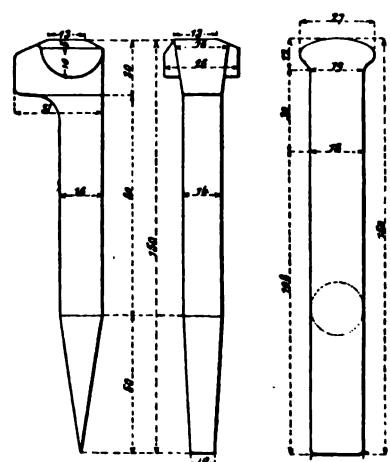


Fig. 160.

Les tirefonds offrent plus de solidité à cause du filet dont leur tige est munie et qui tient mieux dans le bois de la tra-

verse ; ils risquent moins de s'arracher, par suite des secousses qui leur sont imprimées par le rail ou le coussinet. On leur donne ordinairement une longueur de $0^{m},16$ à $0^{m},18$; le diamètre de la tige varie de 10 à 14 millimètres à la pointe et de 15 à 20 millimètres sous le collet (*fig.* 161).

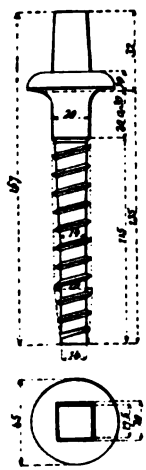


Fig. 161.

Le tirefond ne remplit pas exactement le trou du coussinet, on ménage un jeu pour tenir compte de la dilatation. Mais il arrive que le sable ou les débris du ballast finissent par s'introduire dans le vide restant autour du collet du tirefond et occasionnent l'usure par suite de frottement des parties en contact ; on se sert alors de bagues coniques en bois du diamètre de la partie supérieure du tirefond et correspondant au collet qui reste engagé dans le coussinet dont le trou est ainsi complètement à l'abri des corps étrangers, sans nuire à la dilatation (*fig* 162).

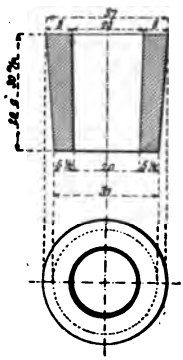


Fig. 162.

Le poids des tirefonds varie d'un réseau à l'autre ; il est de $0^{kg},316$ à l'Orléans ; de $0^{kg},360$ à l'Ouest ; de $0^{kg},390$ au Midi ; de $0^{kg},410$ au Paris-Lyon-Méditerranée pour les traverses ordinaires, et de $0^{kg},440$ pour les traverses de contre-joints.

Les crampons et les chevillettes sont enfoncés au marteau ; les tirefonds sont enfoncés par rotation au moyen d'une clef à béquille qui est décrite à la *pose de la voie*.

Dans la voie Vignole on a pendant longtemps fait porter le rail immédiatement sur la traverse dans l'entaille préparée à cet effet. Aux réseaux du Nord et de l'Est on place simplement sous le rail une semelle de feutre goudronnée pour empêcher l'introduction du sable pouvant amener l'usure de la traverse et du rail en contact.

Selles à talon. — Au réseau Paris-Lyon-Méditerranée on a

d'abord fait usage de selles plates en acier. Ces selles sont destinées à assurer la solidarité entre les attaches placées de chaque côté du rail et à protéger la traverse, ainsi que le patin, contre une usure rapide.

Les selles sont encastrées dans l'entaille de la traverse avec l'inclinaison de 1/20 ; le bord de la selle butant contre la paroi de l'entaille à l'extérieur de la voie résiste plus efficacement à la tendance au surécartement.

Les selles plates ont été remplacées depuis quelques années par les selles à talon du type ci-dessous (*fig.* 163).

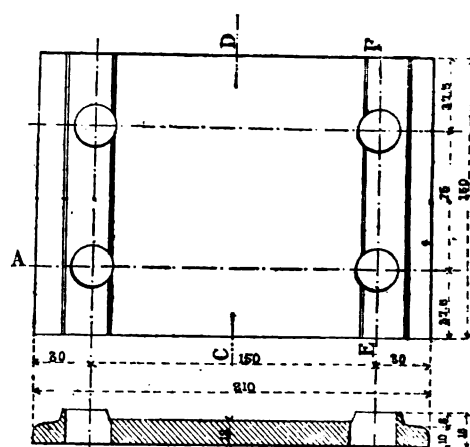


Fig. 163.

Le patin du rail repose dans la cavité de la selle et se trouve serré par les tirefonds placés de chaque côté. Ces selles ont $0^{m},210$ de longueur sur $0^{m},150$ de largeur et sont percées de 4 trous ; mais le plus souvent il suffit d'y placer 2 ou 3 tirefonds ; les trous non utilisés servent comme trous de rechange en cas de réparation ou de renouvellement de la voie. Le poids de ces selles est de $2^{kg},500$.

Éclisses. — On appelle *éclisses* deux armatures ou bandes anciennement en fer, actuellement en acier, destinées à relier,

au moyens de boulons, les extrémités des rails et assurer la rigidité de la voie en rétablissant la continuité interrompue par les joints. Les éclisses se logent contre l'âme du rail en s'appuyant sur l'épaulement ; elles forment pour ainsi dire corps avec le rail en le maintenant, comme le ferait un étau, dans une position invariable (*fig.* 164)

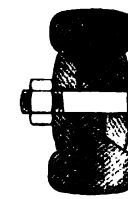
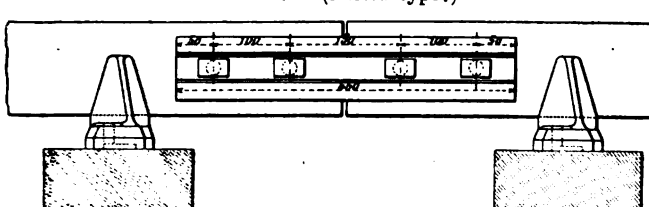


Fig. 164.

Les éclisses sont à rainure ou sans rainure. L'éclisse à rainure se place à l'extérieur, et l'éclisse sans rainure à l'intérieur, car c'est presque toujours de ce côté que se trouve l'écrou pour le serrage des boulons.

Les éclisses diffèrent quelque peu d'un réseau à l'autre. Parfois l'une d'elles, comme au type d'Orléans, porte une rainure dans laquelle entre la tête du boulon, ce qui l'empêche de tourner quand on serre l'écrou. La disposition ci-après montre la tête du boulon engagée dans la rainure de l'éclisse (ancien et nouveau modèles) (*fig.* 165).

Orléans (ancien type.)



(Nouveau type.)

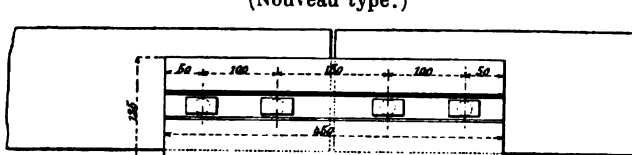


Fig. 165.

La longueur de cette éclisse est de 0^{m},45.

L'éclisse de la Compagnie du Nord, dont nous donnons la

disposition ci-dessous (*fig.* 166), a 0m,52 de longueur; les boulons ont 0m,023 de diamètre; c'est le type employé ordinaire-

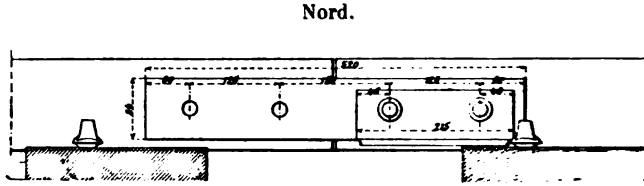


Fig. 166.

ment pour la voie avec rails de 30 kilogrammes. On y ajoute, comme l'indique le croquis, un arrêt de glissement; c'est une plaque analogue à l'éclisse qu'on boulonne sur celle-ci, à l'extérieur de la voie, et qui, venant buter à sa partie inférieure contre le tirefond placé sur la traverse de contre-joint, empêche le déplacement du rail dans le sens longitudinal.

Pour la voie avec rails de 43 et 45 kilogrammes, la Compagnie du Nord fait encore usage d'une éclisse cornière représentée par les croquis ci-contre (coupe et plan, *fig.* 167).

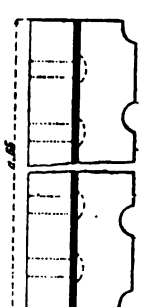


Fig. 167.

Cette éclisse a 0m,65 de longueur et 0m,024 d'épaisseur; l'aile horizontale de 0m,032 (ce qui lui donne en plan 0m,056) est échancrée pour laisser passer les tirefonds dont la tête a une disposition spéciale pour former arrêt.

Éclisse cornière Paris-Lyon-Méditerranée. — Anciennement la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée employait une éclisse arrêt (du modèle P. L. M. A.), dont l'aile inférieure recourbée embrassait le patin du rail et venait buter contre le tirefond de la traverse de contre-joint, mais ce modèle n'est plus usité maintenant que sur les voies ne présentant pas de fortes déclivités et jusqu'à épuisement des stocks. On

emploie à peu près exclusivement sur la ligne principale l'éclisse cornière P. M. ou P. L. M. A (coupe AB, *fig.* 168).

Cette éclisse a une longueur de $0^m,70$.

Les éclisses cornières ont pour objet de renforcer le joint et de lui donner plus de rigidité, tout en s'opposant au mouvement longitudinal du rail, provoqué par la marche des trains, et au déversement sous l'action des poussées latérales.

Elles sont assemblées deux à deux avec les rails au moyen de quatre boulons disposés comme aux croquis ci-dessous (*fig.* 168), montrant l'éclissage de la voie P. M. Chacune des

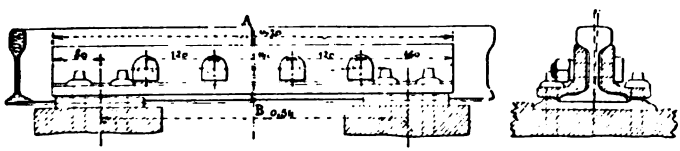


Fig. 168.

éclisses est fixée sur la selle et sur la traverse correspondante par un ou deux tirefonds, suivant l'écartement à donner aux traverses.

On emploie parfois ces éclisses conjointement avec les éclisses-arrêts, de deux en deux joints ; dans ce cas, celles-ci se placent en dedans de la voie, et les éclisses cornières en dehors ; les bouts de l'éclisse-arrêt doivent porter contre les deux selles voisines du joint, et les éclisses-cornières s'appuient sur les deux traverses de contre-joint et y sont fixées comme il est dit ci-dessus.

Dans tous les cas, les écrous des boulons sont placés, autant que possible, à l'intérieur de la voie.

Éclisse L. P. — Le rail du nouveau type de 47 kilogrammes de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, désigné sous le nom de rail L. P., est percé de trous à chacune de ses extrémités pour recevoir des éclisses-cornières à 6 trous disposées comme aux croquis ci-après (*fig.* 169), montrant les dispositions de l'éclissage de la voie L. P. Le trou extrême est à 60 millimètres du bout du rail, le second à 120 millimètres de celui-ci, et le troisième à 160 millimètres du second ; les

4 boulons du milieu sont ainsi à 120 millimètres l'un de l'autre.

Cette éclisse a 0m,80 de longueur, et les trous des tirefonds de la bande inférieure correspondent, comme dans le modèle

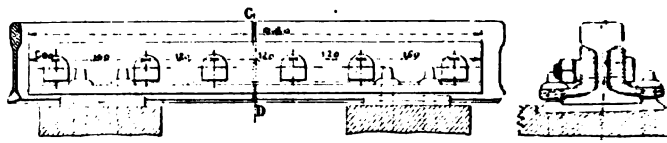


Fig. 169.

ci-devant, à une distance de 0m,54 d'axe en axe entre les traverses de contre-joint.

Selle-arrêt. — Dans les points où la voie est très fréquentée ou en forte pente, la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, afin de mieux relier le rail à la traverse, emploie actuellement un type de selle-arrêt intermédiaire dont les dispositions sont indiquées au croquis ci-dessous (*fig.* 170).

Cette selle-arrêt est formée d'une large bande d'acier doux

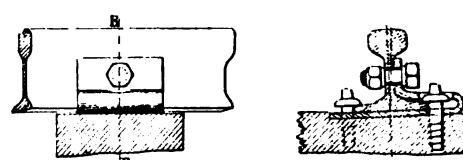


Fig. 170.

portant sur la traverse, recourbée, du côté intérieur de la voie, de façon à épouser la forme du patin du rail et terminée par une branche verticale s'appuyant contre l'âme, à laquelle elle est fixée au moyen d'un boulon de 0m,025 de diamètre. La plaque inférieure est percée de trous de 22 millimètres de diamètre, dont deux à l'intérieur et un à l'extérieur, permettant de fixer la selle sur la traverse, au moyen de tirefonds ordinaires. La partie recourbée est percée d'un trou de 0m,055 de diamètre correspondant à celui de la plaque inférieure pour permettre le passage de la tête du tirefond.

Enfin, la branche verticale est percée d'un trou de $0^{m},027$ correspondant à celui du rail pour recevoir le boulon d'attache.

L'épaisseur de la selle-arrêt, qui était au début de 10 millimètres, a été augmentée et portée à 12 millimètres sa longueur est de $0^{m},220$; sa largeur, de $0^{m},150$; et son poids, de $3^{kg},500$.

Flasques d'arrêt jumelles. — La Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée emploie, en outre, depuis peu de temps, sur la grande ligne avec le rail L.P., et comme attaches intermédiaires des *flasques d'arrêt jumelles*. C'est une sorte d'éclisse cornière de $0^{m},150$ de longueur, fixée à l'âme du rail par un boulon et dont la branche inférieure est fixée elle-même sur la selle à talon et la traverse au moyen de deux tirefonds placés de chaque côté du patin et la tenant ainsi comme dans un étau. Les figures 171^{1}, 171^{2} et 171^{3} montrent les

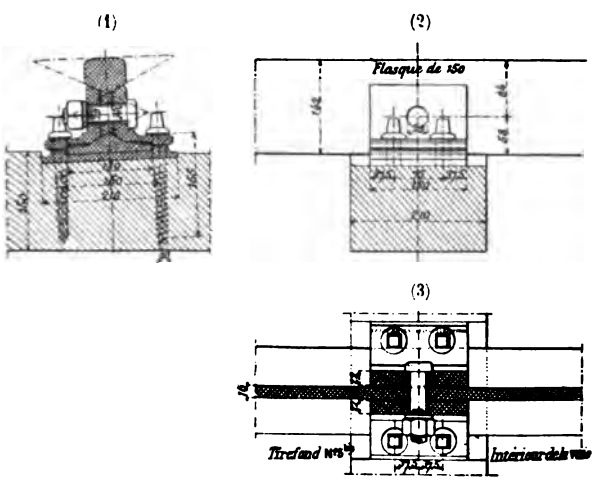
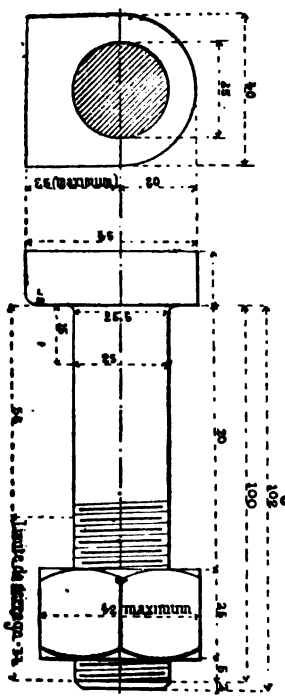


Fig. 171.

dispositions de ces attaches, qui donnent d'excellents résultats et assurent à la voie la solidité désirable.

Boulons d'éclisses. — Les boulons sont destinés à fixer les éclisses sur l'âme des rails.

	Millimètres.
Le diamètre des trous des rails est généralement de....	29 à 30
Celui des trous d'éclisses, de	27
Celui des boulons, de.....	25



Profil des filets. — Échelle 2 1/2.

Comme on le voit, le boulon ne remplit pas exactement le trou de l'éclisse ni celui du rail; ce jeu est nécessaire pour la dilatation qui, autrement, pourrait produire la rupture des pièces; il suffit, pour que l'éclissage soit solide, que l'éclisse porte sur l'épaulement du champignon du rail et que l'écrou soit serré à fond, mais sans trop d'effort.

A la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, on a modifié le perçage des éclisses et remplacé par des trous ronds les trous ovalisés où venait s'encastrer un ergot ménagé sous la tête du boulon; celle-ci a reçu actuellement sur l'un des côtés une forme méplate, qui, lors de la pose, vient s'appuyer sur le talon de l'éclisse et empêche ainsi ce boulon de tourner (*fig.* 172).

Fig. 172.

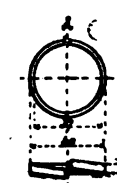


Fig. 173.

Enfin, pour éviter que les trépidations résultant du passage des trains ne fassent desserrer l'écrou des boulons, on place entre la tête de ceux-ci et l'éclisse une rondelle en acier dite *rondelle Grower*, de 5 millimètres d'épaisseur, ressemblant à un anneau brisé et formant ressort, conforme au modèle ci-contre (*fig.* 173).

Plan de pose de voies. — Chaque réseau a son plan de pose quelque peu différent l'un de l'autre, en ce qui concerne la répartition des traverses et le mode d'attache des rails suivant le type qui lui est propre.

M. Lecocq, ingénieur du matériel à la Compagnie du Midi, a dressé à ce sujet un tableau comparatif des divers plans de pose des sept grands réseaux français, dont il a bien voulu nous offrir un exemplaire, que nous nous empressons de publier ci-après, car il constitue, dans l'espèce, un document d'une réelle valeur (Voy. Planches VIII et VIII *bis* ci-après).

Ce plan indique que les rails L. P. du réseau Paris-Lyon-Méditerranée étaient percés de 4 trous intermédiaires destinés à fournir des points d'attache pour les selles-arrêt suivant le mode de répartition des traverses. Actuellement, le rail du nouveau type de 12 mètres n'est plus percé que de deux trous intermédiaires disposés comme au croquis ci-dessous (*fig.* 174).

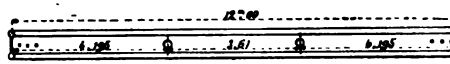


Fig. 174.

Sabotage et entaillage des traverses. — Avant de recevoir la pose des rails, les traverses ont besoin de subir l'opération du *sabotage*, ou *entaillage*, suivant qu'elles sont destinées à supporter la voie à double champignon ou la voie Vignole. Dans l'un ou l'autre cas on dit généralement sabotage [1].

[1] Anciennement, alors que les voies à double champignon étaient les plus répandues, la semelle du coussinet était aussi appelée *sabot* ; de là, l'expression de saboter, sabotage.

Le sabotage consiste à préparer sur la face supérieure de la traverse l'emplacement destiné à recevoir le patin du rail Vignole ou le coussinet du rail à double champignon. Ces emplacements du rail sur les traverses étant destinés à assurer le maintien de la voie dans son écartement régulier, on comprend que le sabotage constitue une opération délicate à laquelle on ne saurait apporter trop de soin et de précision, puisque la perfection de la voie en dépend.

Cette opération se fait le plus souvent sur place, à l'herminette ou à la bisaiguë, à l'aide de gabarits spéciaux destinés à fixer exactement l'emplacement des entailles qui doivent recevoir le coussinet du rail à double champignon ou le patin du rail Vignole (*fig.* 175). Les entailles doivent avoir exactement la largeur de la semelle du coussinet ou

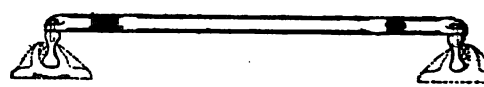


Fig. 175.

de la selle du rail à patin; dans le premier cas, elles doivent être parfaitement horizontales ; dans le second, elles ont une inclinaison transversale d'un 1/20 environ du côté de l'intérieur de la voie, et sont exécutées de la manière suivante, usitée principalement à la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.

On place les traverses sur le chantier, la partie ronde ou affectée de flaches en dessus; on applique ensuite le gabarit sur cette face, de manière à placer les entailles à peu près à égale distance des deux extrémités de la traverse et sur la portion de sa largeur la plus saine et la plus propre à servir d'appui à la selle.

On trace l'emplacement des entailles et, enlevant le gabarit, on donne suivant le tracé quatre traits de scie, et on achève les entailles à l'herminette ou à la bisaiguë, en ayant soin de conserver intactes les faces verticales produites par le trait de scie.

La profondeur des entailles n'a rien d'absolu; elle dépend

de la forme des traverses et doit dans tous les cas avoir au moins 1 centimètre et être suffisante pour que les selles reposent entièrement dans les entailles.

Il doit rester sous les entailles une épaisseur de bois d'au moins $0^{m},12$.

Le perçage des trous des tirefonds se fait ordinairement d'avance et à l'aide de gabarits spéciaux déterminant l'écartement des rails et l'inclinaison à donner aux tirefonds; on a soin d'appuyer la tarière contre les patins des rails de manière à forcer les tirefonds à s'appliquer contre le bord lors de la pose.

Les trous doivent être percés d'outre en outre afin de ne pas retenir l'humidité qui amènerait la destruction du bois.

On enduit de goudron végétal la paroi intérieure des trous des tirefonds, ainsi que la partie entaillée de la traverse avec laquelle le rail ou la selle doit se trouver en contact.

Sur beaucoup de chantiers le sabotage se fait sur place au moyen de la saboteuse mécanique.

Saboteuse mécanique. — Nous donnons ci-dessous la des-

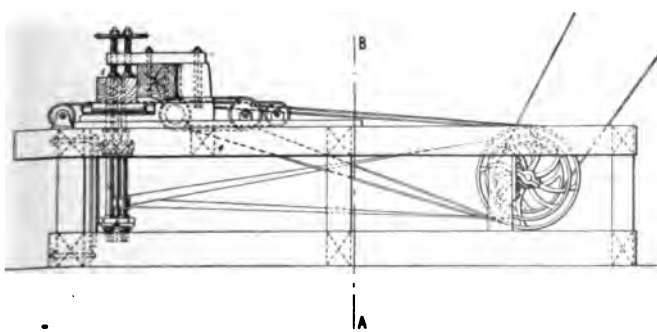


Fig. 176.

cription sommaire d'une de ces machines, construite par la maison Arbey (*fig.* 176 et 176 *bis*).

Cette machine peut fonctionner à bras, mais le plus sou-

vent elle est actionnée par une locomobile. Elle se compose d'un châssis horizontal sur lequel est fixé un axe rotatif portant, en des points correspondant aux entailles à faire aux

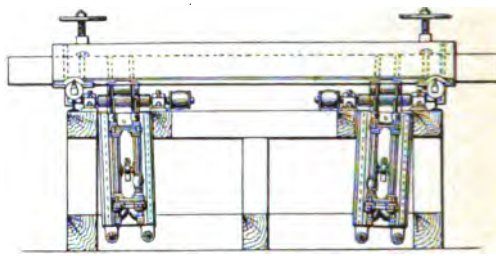


Fig. 176 *bis*.

traverses, deux rabots circulaires composés chacun de deux petites scies *aa'bb'* et de deux lames ajustées sur le même porte-outils (*fig.* 177). La traverse, arrivant à l'affleurement du niveau de l'axe AB, se trouve entaillée comme l'indique le dessin de la figure ci-dessous.

Fig. 177.

Les entailles se font par dessous, de sorte que, si l'épaisseur des bois à travailler est plus forte que la moyenne, cette épaisseur est conservée, et les entailles ne sont pas plus profondes; si, au contraire, l'épaisseur des traverses est un peu moindre que cette moyenne, les entailles sont néanmoins entières et complètes.

Les traverses sont fixées par des valets à vis avec manivelle sur un châssis s'appuyant sur des rouleaux placés près des outils. Deux crémaillères mues par des pignons à manivelle font avancer la traverse sur les outils et la ramènent en

arrière après l'entaillage. On comprend que les légères courbures ou gauchissements que les traverses peuvent avoir pris au magasin n'influent pas sur la régularité des entailles.

Cette machine est complétée par deux porte-outils verticaux, actionnés par un levier, permettant de percer, après retour de l'entaillage, les trous des tirefonds. Cette disposition est indiquée par la coupe 176 *bis*.

Cette machine coûte 3.200 francs et peut faire environ 500 traverses dans une journée de dix heures.

La plupart des Compagnies ont leur atelier de préparation de traverses où se font en même temps le sabotage et le perçage mécaniques.

A l'atelier de Collonges (Paris-Lyon-Méditerranée), les opérations sont faites au moyen d'une machine du type Grafenstaden, décrite au numéro de septembre 1886 de la *Revue générale des chemins de fer*, et permettant d'entailler les traverses pour rails de tous les types en changeant convenablement les couteaux.

Le prix de l'entaillage est ainsi notablement réduit.

L'opération qui, faite à la main, coûte environ 0 fr. 15 par traverse, ne revient au chantier de Collonges qu'à 6 1/2 ou 8 centimes (la Compagnie du Nord paie 8 centimes à un entrepreneur).

Cette machine peut entailler et percer 800 traverses par jour.

Profil de la voie et du ballast. — Le ballastage et la pose

Fig. 178.

des voies se font généralement d'après les dispositions du profil ci-dessus pour les lignes à voie unique (*fig.* 178).

Dans le cas d'une double voie, l'entre-voie est ordinairement de 2 mètres (quelquefois de $2^m,06$ à $2^m,10$), ce qui donne $7^m,20$ à la plateforme du ballast.

D'après les profils types usités généralement, l'accotement du ballast est réglé avec une pente vers l'extérieur de la voie (Voir le profil côté A). Mais cette disposition, adoptée en vue de faciliter l'écoulement de l'eau à la surface du ballast, a pour inconvénient d'affaiblir la butée des traverses.

L'emploi de ballast essentiellement perméable, en écartant toute préoccupation au sujet des eaux, permet de ne songer qu'à renforcer l'épaulement des traverses. Dans ce but, il est préférable de relever l'arête du ballast au niveau du rail et même, en cas de dévers, un peu au-dessus, s'il y a lieu. L'accotement peut alors être réglé avec une pente de $0^m,04$ à $0^m,05$ vers l'intérieur de la voie de manière qu'au point de contact le ballast soit à $0^m,05$ en contre-bas du niveau du rail (Voir le côté B du profil).

Largeur des voies. — Les premiers chemins de fer construits en Angleterre ont, après de longues discussions, toutefois, adopté à peu près généralement la voie avec écartement de $1^m,44$, mesuré entre les bords intérieurs des champignons des rails.

Les autres États ont successivement adopté cette largeur, sauf l'Espagne ($1^m,73$) et la Russie ($1^m,523$). Les cahiers des charges des chemins de fer français portent d'une façon à peu près uniforme la largeur de $1^m,44$ à $1^m,45$, qui a paru la plus convenable au point de vue de la construction et de l'exploitation.

Une conférence internationale a été tenue à Berne, le 10 mai 1886, pour arrêter les bases d'une unité technique des voies et du matériel. La France, l'Allemagne, l'Autriche, l'Italie et la Suisse s'y étaient fait représenter. Les conférents ont stipulé que la largeur de la voie des chemins de fer, mesurée entre les bords intérieurs des rails pour les voies à construire ou celles à refaire, à partir de la mise en vigueur de ces dispositions, mesurerait au moins dans les alignements droits $1^m,435$, et que, dans les courbes, cet écartement n'excèderait pas $1^m,465$.

Un arrêté du Ministre des Travaux publics, en date du 31 mars 1877, a sanctionné, pour la France, ces stipulations.

A la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, on compte généralement entre le rebord intérieur des champignons des rails.	1m,45
D'axe en axe des rails.....	1 ,51
Et entre les rebords extérieurs.....	1 ,57

Piquetage avant la pose. — Avant de procéder au ballastage et à la pose des rails, qu'il s'agisse d'une ligne à voie unique ou d'une ligne à deux voies, il est indispensable de faire un piquetage spécial, l'axe piqueté étant destiné à disparaître sous la couche de ballast. A cet effet, les points principaux du tracé, et, en tous cas, les piquets hectométriques en alignement droit et des piquets à tous les 20 mètres dans les courbes sont reportés sur l'accotement. On se sert pour cela de piquets de 0m,06 à 0m,08 de diamètre ayant quelquefois une tête à section carrée de mêmes dimensions, que l'on plante à une distance exacte de l'axe; celui-ci est repéré par une pointe placée sur la tête de chaque piquet; la cote du rail est indiquée par une pointe placée sur la face parallèle à la voie.

Préparation de la plateforme. — La plateforme est ensuite réglée suivant les cotes rouges du profil en long, en ménageant parfois dans les terrains humides une pente transversale de 0m,08 à 0m,10 pour l'écoulement des eaux aussi bien en remblai qu'en déblai.

POSE DE LA VOIE

La pose de la voie est une opération très délicate qui demande une grande précision et exige des ouvriers spéciaux.

Les entrepreneurs des grandes Compagnies ont généralement des équipes de *poseurs*, conduites par un *chef poseur* ayant l'habitude de ce travail, qu'on ne saurait confier à des ouvriers ordinaires et qui sont munis à cet effet d'un outillage spécial.

M. Salin, ancien inspecteur de la voie au chemin de fer d'Orléans, a, dans son *Manuel du poseur des voies*, très apprécié des praticiens, donné en détail les diverses opérations qui constituent la pose des voies, ainsi que la composition des équipes d'ouvriers chargés de ce travail, et l'outillage des poseurs. Nous avons emprunté à ce *Manuel*, dont nous avons fait usage, une grande partie des renseignements que nous donnons ci-après sur la pose des voies. D'autres sont tirés des instructions en vigueur à la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée dans ce qu'elles ont de général sur cette question.

Ballastage. — Si l'entrepreneur dispose encore de sa voie de terrassements, il est avantageux de s'en servir pour l'approvisionnement du matériel de la voie et du ballast, car la pose se fait dans ce cas sur une première couche d'au moins $0^m,25$ d'épaisseur. C'est cette manière de procéder qui est certainement la plus favorable à la conservation de la voie neuve, qui est ainsi moins exposée à se fausser au passage des trains de ballast ; mais il faut pour cela que la voie provisoire existe, car il serait certainement très onéreux de se la procurer uniquement pour le ballastage.

Dans le cas contraire, la voie est posée directement sur la plateforme des terrassements préalablement réglée ; le ballast est fait alors en trois couches dont les deux premières ont de 10 à 15 centimètres d'épaisseur chacune.

Quels que soient, d'ailleurs, la manière de procéder et le type des voies adoptées, les diverses opérations qui constituent la pose, dont le plan est du reste remis dans chaque cas au chef poseur et au conducteur, diffèrent très peu et se font généralement dans l'ordre suivant, en dehors de l'approvisionnement du ballast.

Diverses opérations constituant la pose. — Coltiner les traverses et les rails chacun à l'emplacement qu'ils doivent occuper ; la place des rails étant, au préalable, marquée d'un coup de pioche sur l'accotement et celle des traverses indiquée par le plan de pose ;

Mettre en place les coussinets ou les selles ;

Poser les rails et éclisser provisoirement avec deux boulons serrés légèrement pour permettre le relevage facile de la voie et en laissant au joint un jeu suffisant pour la dilatation ;

Marquer à la craie sur les rails la position exacte des traverses ;

Mettre les traverses en place en les ripant et en les soulevant avec la pince ;

Tirefonner le rail Vignole, sans serrer à fond, ou coincer le rail à double champignon en ayant soin de chasser les coins dans le sens des pentes et dans le sens de marche des trains sur les lignes à double voie ;

Relever la voie, la remplir de ballast et bourrer les traverses ;

Placer les deux derniers boulons d'éclisses ;

Dresser l'alignement des voies et régler le profil du ballast.

La répartition des traverses se fait en ayant soin, autant que possible, de ne pas mélanger les bois d'essences différentes. Toutefois, quand les traverses sont partie en bois dur et partie en bois tendre, on peut les mélanger, en employant au moins trois traverses dures pour les deux joints et le milieu du rail.

Équerre de pose. — Les rails sont placés de façon que

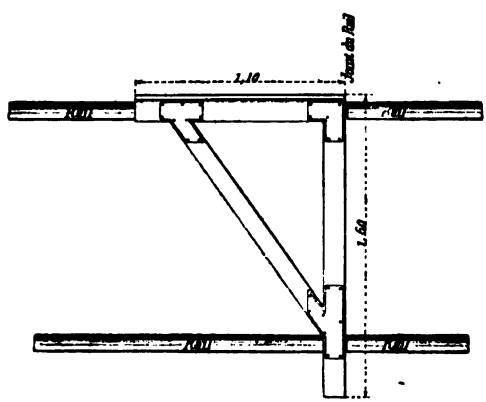


Fig. 179.

leurs extrémités d'une file à l'autre se correspondent. On se

sert à cet effet d'une équerre de pose. C'est une grande équerre en bois, dont l'une des branches est munie d'un rebord ou talon qu'on applique contre l'un des rails, sur son côté extérieur, le talon à l'extrémité du rail ; l'autre branche, un peu plus longue que la largeur de la voie, s'appuie sur le rail du côté opposé et indique la position du joint (*fig.* 179).

Jeu de dilatation des rails. — On laisse généralement entre les extrémités des rails un joint variable suivant la température, appelé *jeu de dilatation ;* à cet effet, la pose des éclisses, reliées entre elles au moyen de boulons, doit être faite avec le plus grand soin. On règle ce jeu en intercalant entre les bouts des rails des cales en tôle d'un modèle poinçonné remis à l'entrepreneur, dans chaque cas, par l'ingénieur. L'épaisseur de ces cales varie d'après la température de la région et la longueur des rails employés.

Au réseau de Paris-Lyon-Méditerranée, ces épaisseurs sont établies conformément au tableau suivant :

	LONGUEURS DES RAILS			
	6m,00	8m,00	10m,00	12m,00
	millim.	millim.	millim.	millim.
Au-dessous de 5° centigrades..	5	6	7	8
Entre 5 et 15° — ..	4	5	6	7
15 et 25° — ..	3	4	5	6
25 et 35° — ..	2	3	4	5
Au-dessus de 35° — ..	1	2	3	4

La Compagnie du Midi adopte, pour des rails de 11 mètres, les chiffres suivants pour la dilatation :

Jusqu'à 10° centigrades.....	8	millimètres
De 10 à 20°.....	7	—
De 20 à 30°.....	6	—
Au dessus.....	4	—

et pour des rails de $5^m,50$:

Jusqu'à 10°	6	millimètres
— 30°	5	—
Au dessus	4	—

A la Compagnie du Nord on admet que l'écart de température à laquelle les rails sont soumis correspond à environ 40° (de — 10 à + 30°), pour lequel on calcule un allongement ou un raccourcissement de l'acier de 1/2 millimètre par mètre, ce qui donne 4 millimètres pour un rail de 8 mètres ; le jeu est alors réglé ainsi :

Jusqu'à 0°	4	millimètres
De 0° à 15°	3	—
Au dessus	2	—

Les tirefonds des coussinets ou des rails Vignole sont mis en place d'abord à la main, après avoir été préalablement trempés dans du goudron végétal; on les serre ensuite au moyen de la clef à béquille (*fig.* 180). L'enfoncement des tirefonds par percussion est formellement interdit.

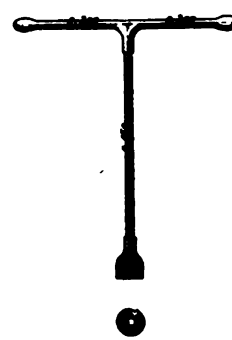


Fig. 180.

Le serrage doit être suffisant pour obtenir un bon contact du rail et de la traverse, sans aller au delà, afin d'éviter de mâcher les fibres du bois ou de faire sauter la tête du tirefond dans les relevages successifs de la voie. On a soin de serrer simultanément les deux tirefonds du même rail.

Pendant l'opération, l'écartement de la voie est maintenu et vérifié à l'aide du gabarit d'écartement. C'est une règle métallique munie de deux mentonnets qui doivent s'introduire exactement dans les rebords intérieurs des champignons des rails (*fig.* 181).

Les mêmes précautions sont employées pour les traverses

intermédiaires dont le tirefonnage ne se fait qu'après que la

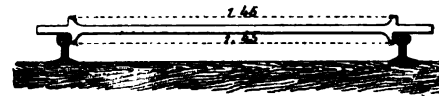


Fig. 181.

voie a été parfaitement réglée en hauteur et en direction.

Surécartement dans les courbes. — Généralement dans les courbes d'un rayon inférieur à 500 mètres on donne à la voie un surécartement de $0^m,01$; on la règle alors à $1^m,46$ d'écartement entre le rebord intérieur des rails ; ce surécartement est raccordé à partir du point de tangence sur deux longueurs de rails : ainsi, on a au point de tangence $1^m,45$; au premier joint $1^m,445$ et au deuxième joint $1^m,46$. Les traverses usitées dans ce cas sont sabotées sur place.

Relevage, bourrage et dressement. — Dans les alignements les traverses sont posées perpendiculairement aux rails; dans les courbes, elles sont posées suivant la direction du rayon, en ayant soin, dans les deux cas, de les appuyer solidement sur le ballast.

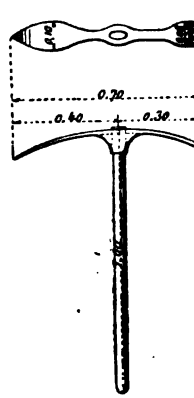


Fig. 182.

Les relevages consistent à mettre la voie à la hauteur qu'elle doit occuper d'après les profils. Ces relevages se font avec un levier appelé *anspech* que l'on engage sous la traverse, mise à hauteur par un bourrage du ballast fait au moyen d'une pioche en fer appelée *langue de carpe* (*fig.* 182). Le levier ne doit pas s'appliquer sous le rail, ce qui pourrait ébranler les tirefonds et fausser la voie.

On commence d'abord par mettre le rail à niveau et sur les deux files, en face de deux piquets hectométriques, par exemple : on

soulève la traverse avec un levier, on la consolide avec du ballast et on vérifie le niveau du rail au moyen du *niveau de poseur*, qui est un simple niveau à bulle d'air de poche dont est muni chaque chef poseur. Le nivellement intermédiaire entre ces deux points se fait ensuite au moyen d'un jeu de nivelettes.

Le bourrage doit être très énergique sous la traverse et jusqu'à $0^m,20$ ou $0^m,30$ environ de part et d'autre ; on bourre un peu plus légèrement vers les bouts de la traverse et plus légèrement encore au milieu : si l'on bourrait fortement le milieu, on pourrait décaler les bouts, et les traverses oscilleraient alors au passage des trains. Dans cette opération du bourrage, il faut avoir soin de ne pas frapper sur les angles de la traverse avec la langue de carpe ni, dans aucun cas, frapper non plus avec des pinces sur les traverses ou sur les rails.

Fig. 183.

Le bourrage doit être fait avec un soin tout particulier sous les traverses voisines du joint et sur les lignes à double voie ; il est recommandé de bourrer plus énergiquement sur le côté de la traverse opposé à l'arrivée des trains.

Pendant tout ce travail, la voie doit être tenue, autant que possible, à l'alignement, de façon à n'avoir à faire après le bourrage qu'un dressement peu important.

Ce *dressage*, ou *ripage*, se fait au moyen de pinces à riper (*fig.* 183) ; on met d'abord le rail le plus voisin des piquets de tracé à la distance indiquée, et le chef poseur, se tenant à une certaine distance en arrière des ouvriers, aligne à l'œil les intervalles compris entre ces points, en commandant de porter la voie à droite ou à gauche. Il faut avoir soin de dégarnir de ballast le bout des traverses du côté où on doit porter la voie, afin de ne pas ébranler les attaches par suite de la résistance qu'on pourrait éprouver en procédant autrement.

Le serrage à fond des boulons d'éclisses n'a lieu qu'à ce moment, et on a soin d'éviter un effort successif qui, loin de consolider l'assemblage, ne ferait que détériorer le filet des boulons.

On complète également le serrage des tirefonds d'attache des coussinets ou des rails Vignole.

Emploi des rails plus courts dans les courbes. — Dans la pose en alignement droit, les joints des rails correspondants doivent se trouver exactement sur une ligne perpendiculaire à l'axe.

Dans les courbes, on rachète la différence de longueur, entre les deux lignes de rails d'une même voie, en plaçant du côté du petit rayon un rail plus court de $0^m,075$, $0^m,06$, $0^m,05$, $0^m,04$ ou $0^m,06$, suivant qu'on emploie des rails de 12, 10, 8, 6 ou de 5 mètres, toutes les fois que le bout du rail précédent dépasse de $0^m,0375$, $0^m,03$, $0^m,025$, $0^m,02$, ou $0^m,03$, une équerre passant par l'extrémité du rail extérieur qui lui correspond et s'appliquant contre ce dernier.

Suivant le rayon des courbes et la longueur normale des rails, il faut rigoureusement les proportions suivantes de rails courts :

RAYON des COURBES	VOIE EN RAILS DE 5m,00 Nombre de rails par kilomètre de voie		VOIE EN RAILS DE 6m,00 Nombre de rails par kilomètre de voie		VOIE EN RAILS DE 8m,00 Nombre de rails par kilomètre de voie		VOIE EN RAILS DE 10m,00 Nombre de rails par kilomètre de voie		VOIE EN RAILS DE 12m,00 Nombre de rails par kilomètre de voie	
	de 5m,00	de 4m,94	de 6m,00	de 5m,96	de 8m,00	de 7m,95	de 10m,00	de 9m,94	de 12m,00	de 11m,925
mètres										
150	232	168	»	»	»	»	»	»	»	»
175	256	144	»	»	»	»	»	»	»	»
200	274	126	»	»	»	»	»	»	»	»
210	280	120	»	»	»	»	»	»	»	»
225	288	112	167	167	»	»	»	»	»	»
230	291	109	170	164	»	»	»	»	»	»
240	295	105	177	157	125	125	»	»	83,5	83,5
250	299	101	183	151	130	120	100	100	86	81
260	»	»	189	145	134	116	103	97	90	77
270	»	»	194	140	138	112	107	93	92	75
280	»	»	199	135	142	108	110	90	95	72
290	»	»	204	130	146	104	113	87	98	69
300	»	»	208	126	150	100	116	84	100	67
350	»	»	226	108	164	86	128	72	109	58
400	»	»	240	94	174	76	137	63	117	50
450	»	»	250	84	183	67	144	56	122	45
500	»	»	258	76	190	60	150	50	127	40
550	»	»	265	69	195	55	155	45	130	37
600	»	»	271	63	200	50	158	42	133	34

RAYON des courbes	VOIE EN RAILS DE 6m,00 Nombre de rails par kil. de voie		VOIE EN RAILS DE 8m,00 Nombre de rails par kil. de voie		VOIE EN RAILS DE 10m,00 Nombre de rails par kil. de voie		VOIE EN RAILS DE 12m,00 Nombre de rails par kil. de voie	
	de 6m,00	de 5m,96	de 8m,00	de 7m,95	de 10m,00	de 9m,94	de 12m,00	de 11m,9
mètres								
700	280	54	207	43	164	36	138	29
800	287	47	212	38	169	31	142	25
900	292	42	216	34	172	28	145	22
1.000	296	38	220	30	175	25	147	20
1.100	300	34	223	27	177	23	149	18
1.200	303	31	225	25	179	21	150	17
1.300	305	29	227	23	181	19	151	16
1.400	307	27	228	22	182	18	153	14
1.500	309	25	230	20	183	17	154	13
1.600	310	24	231	19	184	16	155	12
1.800	313	21	233	17	186	14	156	11
2.000	315	19	235	15	187	13	157	10
3.000	321	13	240	10	192	8	160	7
4.000	325	9	242	8	194	6	162	5
5.000	326	8	244	6	195	5	163	4

Les courbes dont le rayon n'est pas inférieur à 250 mètres peuvent être posées indifféremment avec des rails de 5, 6, 8, 10 ou 12 mètres, moyennant l'intercalation d'un nombre convenable de rails de 4m,94, 5m,96, 7m,95, 9m,94 ou 11m,925.

Pour celles dont le rayon est inférieur à 250 mètres et ne descend pas au-dessous de 240 mètres, on emploie des rails de 5, 6, 8 ou 12 mètres, moyennant l'intercalation d'un nombre convenable de rails de 4m,94, 5m,96, 7m,95 ou 11m,925.

Pour celles dont le rayon est inférieur à 240 mètres et ne descend pas au-dessous de 225 mètres, on emploie des rails de 5 ou 6 mètres, moyennant l'intercalation d'un nombre convenable de rails de 4m,94 ou de 5m,96.

Pour celles dont le rayon est inférieur à 225 mètres, on emploie des rails de 5 mètres moyennant l'intercalation d'un nombre convenable de rails de 4m,94.

Dans le cas où l'emploi de rails plus courts, ou bien l'obligation de courber les rails avant la pose, pour les courbes de petits rayons, serait reconnu nécessaire, des instructions spéciales seront données par les ingénieurs.

Dévers dans les courbes. — La pose de voie dans les courbes doit être l'objet de précautions et de soins tout particuliers. Autant que possible on n'emploie que des traverses en bois dur dans les courbes à faible rayon.

Dans les alignements droits, les deux rails sont placés exactement au même niveau. Dans les courbes, le rail extérieur ou plus éloigné du centre et présentant, par conséquent, sa concavité à l'intérieur de la voie, doit être plus élevé que le rail intérieur ou situé du côté du centre, afin de contrebalancer les effets de la force centrifuge ; cette surélévation est ce qu'on appelle le dévers.

La différence de niveau à établir entre les deux rails, ou dévers de la voie, est donnée par la formule $D = \frac{V}{R}$ (V étant la vitesse, et R le rayon) et varie, par conséquent, avec ces données. L'application de la formule $\frac{V}{R}$ donne les résultats indiqués dans le tableau ci-après dans la supposition des vitesses de 30, 40, 50 et 60 kilomètres à l'heure; mais, dans aucun cas, le dévers ne doit dépasser $0^m,18$ [1].

[1] Cette formule est également adoptée par plusieurs Compagnies.

COURBES du TRACÉ	RELÈVEMENT DU RAIL EXTÉRIEUR $\frac{V}{R}$ pour une vitesse de 60 kilom. à l'heure	pour une vitesse de 50 kilom. à l'heure	pour une vitesse de 40 kilom. à l'heure	pour une vitesse de 30 kilom. à l'heure	OBSERVATIONS
Rayons					
200m	0m,300	0m,250	0m,200	0m,150	On indiquera par des instructions spéciales les dévers à adopter, en ligne droite, sur les remblais établis sur un sol fortement incliné et sujet à tassements.
225	0 ,267	0 ,222	0 ,178	0 ,133	
250	0 ,240	0 ,200	0 ,160	0 ,120	
275	0 ,218	0 ,182	0 ,145	0 ,109	
300	0 ,200	0 ,167	0 ,133	0 ,100	
350	0 ,171	0 ,143	0 ,114	0 ,086	
400	0 ,150	0 ,125	0 ,100	0 ,075	
450	0 ,133	0 ,111	0 ,089	0 ,067	
500	0 ,120	0 ,100	0 ,080	0 ,060	
600	0 ,100	0 ,083	0 ,067	0 ,050	
700	0 ,086	0 ,071	0 ,057	0 ,043	
800	0 ,075	0 ,063	0 ,050	0 ,038	
900	0 ,067	0 ,056	0 ,044	0 ,033	
1.000	0 ,060	0 ,050	0 ,040	0 ,030	
1.200	0 ,050	0 ,042	0 ,033	0 ,025	
1.500	0 ,040	0 ,033	0 ,027	0 ,020	
2.000	0 ,030	0 ,025	0 ,020	0 ,015	
2.500	0 ,024	0 ,020	0 ,016	0 ,012	

On obtient la dénivellation transversale partie en relevant un rail, partie en abaissant l'autre (*fig.* 184), de manière à ne pas changer l'inclinaison longitudinale de la ligne ; elle doit être

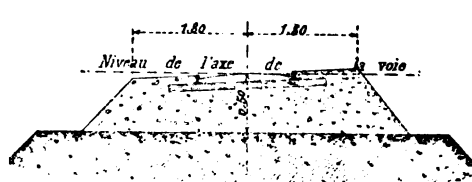


Fig. 184.

rachetée en entier sur l'alignement droit, afin que la voie ait son dévers complet dès la naissance de la courbe.

Le dévers est indiqué aux poseurs par la *règle à dévers* et le niveau de poseur dont on a déjà parlé. C'est une règle en bois bien dressée, d'une largeur uniforme et dont une extrémité va en s'élargissant suivant des redans indiquant chacun le rayon de la courbe à laquelle ils s'appliquent. La règle dans la position ci-après (*fig.* 185) indique une voie correspondant au dévers d'une courbe de 400 mètres de rayon.

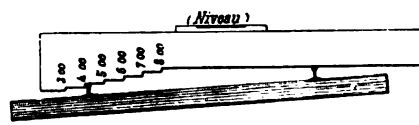


Fig. 185.

Comme on connaît, au moment de la pose, le maximum de vitesse des trains qui circuleront sur la ligne, le dévers est déterminé en conséquence, et la règle est alors établie d'après les indications admises à cet effet.

Sur les ponts métalliques où le dévers ne peut être obtenu que par l'augmentation d'épaisseur d'une des longrines, sans diminution de l'autre, qui est un minimum, on doit abaisser le niveau des maçonneries supportant le tablier d'une quantité égale à la moitié du dévers.

Raccordement du dévers. — La longueur du raccordement du dévers est obtenue dans chaque cas, par la formule 8V.D. et, par conséquent, est égale à la hauteur de ce dévers multipliée par 480, 400, 320 ou 240, suivant qu'il s'agit de lignes de la première, de la deuxième, de la troisième ou de la quatrième catégories indiquées au tableau qui précède.

Ainsi, pour une courbe de 450 mètres de rayon, sur une ligne destinée à être parcourue par des trains d'une vitesse de 50 kilomètres, le dévers est de $0^{m},111$ et la longueur du raccordement de :

$$400 \text{ (ou } 8V) \times 0,111 = 44^{m},40.$$

Le dévers, étant complet dès le point de tangence, est rac-

cordé à zéro, sur l'alignement de chaque côté, sur une longueur de 44m,40. Si la pose est faite en rails de 8 mètres, la différence sera rachetée par 5 rails et demi : le premier joint après la tangente sera à 0m,091 ; le deuxième, à 0m,071 ; le troisième, à 0m,051 ; le quatrième, à 0m,031 ; le cinquième, à 0m,011 ; le sixième rail aura une extrémité relevée de cette dernière cote, et l'autre sera au niveau du palier.

Dans les parties où l'alignement droit entre deux courbes de sens contraire ne présenterait pas une longueur suffisante, les raccordements sont établis proportionnellement au dévers à racheter entre les deux courbes, en ayant soin de laisser entre les points de raccordement une longueur de 6, de 8, de 10 ou de 12 mètres, sur laquelle les rails seront de niveau.

Ainsi, supposons qu'on ait à raccorder les dévers de deux courbes, l'une de 250 mètres de rayon, et l'autre de 400 mètres, séparées par un alignement droit de 85m,50 sur une ligne comportant des vitesses de 50 kilomètres à l'heure. Cet alignement est insuffisant, car, d'après le tableau qui précède, il faudrait :

Pour la courbe de 250 mètres, avec un dévers de 0m,200, un raccordement de	80m.00
Pour la courbe de 400 mètres, avec un dévers de 0m,125, un raccordement de	50m.00
Plus un rail de 6 mètres, au moins entre les deux.....	6 .00
Ensemble.....	136m.00

Il faut alors opérer ainsi qu'il suit : on retranche de la longueur de l'alignement les 6 mètres qui ne doivent pas servir aux raccordements; il reste :

$$85^{m};50 - 6 = 79,50,$$

à partager proportionnellement aux dévers correspondant aux deux courbes, c'est-à-dire 0m,200 et 0m,125. On établit alors la proportion :

0,200 + 0,125 ou 0,325 : 79,50 : : 0,200 : x, d'où $x = 48,92$

0,325 : 79,50 : : 0,125 : x, d'où $x = 30,58$

d'où la longueur du raccordement correspondant (*fig.* 186) :

A la courbe de 250 mètres de rayon.....	48m,92
-- 400 —	30 ,58
Longueur libre entre les deux raccordements	6 ,00
Longueur égale à l'alignement ci-dessus.....	85m,50

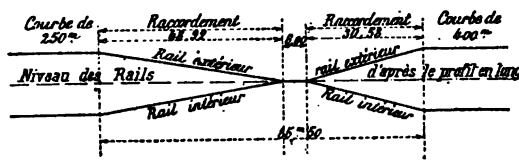


Fig. 186.

La hauteur du dévers est réduite de moitié dans les gares où les trains à grande vitesse s'arrêtent ou ralentissent.

Le dévers oblige à dresser la surface supérieure de la première couche de ballast, suivant un plan incliné et conformément au tableau ci-dessus, de manière que les points situés sur l'axe de la voie soient à 25 centimètres en contre-bas du niveau fixé sur les piquets.

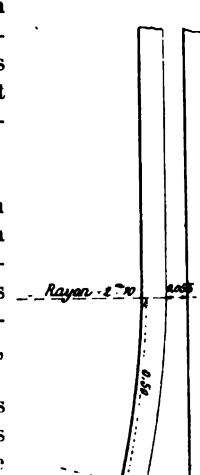


Fig. 187.

Pose aux passages à niveau. — On emploie, dans la pose aux passages à niveau, des traverses ordinaires, choisies parmi les plus larges et les plus épaisses, afin que l'entaille sous le pavage, si elle est reconnue nécessaire, ne les affaiblisse pas trop.

Dans tous les passages à niveau, les voies sont posées avec l'emploi de cales en fonte placées entre le rail et le contre-rail. Ces cales sont disposées de manière à ménager, pour le passage du boudin des roues, une rainure de 0m,055 de largeur, qui augmente jusqu'à environ 0m,12 vers les extrémités, par suite de la courbure du contre-rail, vers

l'intérieur de la voie. Cette courbure se fait ordinairement d'après un rayon de 2m,10 et sur une longueur de 0m,50 (*fig.* 187).

Sur toute la longueur du contre-rail, les rails ordinaires sont percés de mètre en mètre, pour le passage des boulons qui traversent les cales en fonte. Le patin du rail repose, comme dans la voie courante, sur des selles à talons ordinaires, et le patin du contre-rail est entaillé en conséquence au droit de ces selles.

Ces contre-rails sont posés d'aplomb, et non avec l'inclinaison de 1/20 donnée aux rails dans la voie courante.

Le sabotage et le perçage des traverses, utilisées dans ce cas, sont faits sur place à l'aide d'un gabarit spécial.

Dévers des passages à niveau biais. — Quand un passage à niveau traverse une ligne à deux voies en courbe, il faut,

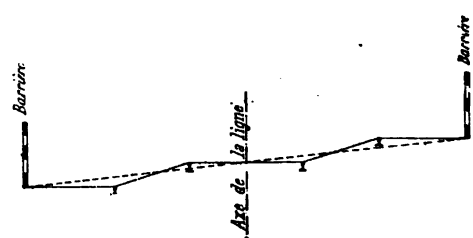


FIG. 188.

pour éviter une contre-pente qui serait gênante pour les voitures, abaisser ou relever une des voies de manière que les deux rails d'entrevoie soient au même niveau (niveau moyen de la ligne) conformément aux dispositions du croquis ci-dessus (*fig.* 188), où la ligne pointillée représente le niveau transversal du passage. Cette précaution est plus particulièrement nécessaire sur les passages à niveau qui traversent obliquement la voie ferrée. Dans ce cas, la différence de niveau entre les deux barrières ou les deux rails extérieurs est du double du dévers.

Raccordement des déclivités. — Nous avons vu, à propos de l'établissement du profil en long d'exécution, que les

pentes et rampes doivent être raccordées entre elles et avec les paliers au moyen de courbes d'au moins 10.000 mètres de rayon, afin d'éviter le basculement des machines et vagons au passage des angles saillants et rentrants formés par la rencontre de fortes déclivités.

Si cette précaution a été négligée lors de l'exécution des terrassements, il est absolument nécessaire de l'observer au moment de la pose des voies, surtout si les déclivités à raccorder présentent de grandes différences.

Ce raccordement s'obtient le plus souvent en diminuant progressivement la déclivité la plus forte et en augmentant la plus faible dans le même rapport, en faisant porter ces modifications sur un nombre suffisant de rails.

Toutefois, dans le cas où la longueur des tangentes et la flèche nécessitée par un aussi grand rayon présenteront des inconvénients, on pourra employer un rayon moindre, mais sans réduire les tangentes au-dessous de 50 mètres.

Abords des grands ponts métalliques. — Aux abords des ponts métalliques à poutres droites, ayant plus de 20 mètres de portée, on établit généralement un appareil compensateur formé de rails taillés en biseau à l'une de leurs extrémités, afin de tenir compte de la dilatation du tablier pendant les chaleurs. Les rails mobiles glissent contre les biseaux des rails fixes ; ils sont maintenus les uns et les autres par un coussinet en fonte disposé à cet effet.

Prix de revient du mètre courant de voie. — On trouvera ci-après, à titre de renseignement, le prix de revient d'un mètre courant de voie sur les différents réseaux et d'après leur type courant de pose.

On remarquera que la comparaison de ces prix ne peut fournir des arguments précis en faveur de l'un ou l'autre type ; les prix unitaires sont différents, parce qu'ils résultent des marchés passés dans des circonstances différentes par tel ou tel réseau et de ses stocks en magasin ; d'autre part, il n'est guère possible de comparer les poids du matériel employé dans chaque cas; ceci constitue donc, nous le répétons, un simple renseignement d'une valeur tout à fait relative.

VOIE A DOUBLE CHAMPIGNON

DÉSIGNATION DES ÉLÉMENTS	NOMBRE de pièces	POIDS unitaires	POIDS totaux	PRIX de l'unité	PRIX — prix de revient
Compagnie de l'Ouest					
Voie composée de rails en acier (D. C.) de 12 mètres pesant 44 kilogrammes le mètre courant, posée sur 18 traverses (L + 6) avec coussinets à large semelle et coins en acier.					
Rails de 12 mètres	2	528k,000	1056k,00	0f,150	158f,40
Traverses	18	»	»	5 ,650	101 ,70
Paires d'éclisses	2	16 ,120	32 ,24	0 ,179	5 ,77
Coussinets	36	16 ,200	583 ,20	0 ,105	61 ,26
Boulons d'éclisses de 0m,25	8	0 ,700	5 ,60	0 ,294	1 ,65
Tirefonds	108	0 ,360	38 ,88	0 ,314	12 ,20
Coins en acier	36	»	»	0 ,38	13 ,68
Total pour 12 mètres					354 ,65
Soit pour 1 mètre $\frac{354,65}{12}$ =					29 ,55
Orléans					
Voie composée de rails en acier (D. C.) de 11m.005 pesant 38k,200 le mètre courant posée sur 14 traverses (L + 2) avec coins en bois.					
Rails de 11m,005	2	420k,390	840k,78	0f,1716	144 ,30
Traverses en chêne	14	»	»	4 ,84	67 ,76
Coussinets ordinaires	28	9 ,500	266 ,000	0 ,1023	27 ,21
Tirefonds goudronnés en acier	56	0 ,316	17 ,700	0 ,2552	4 ,51
Paires d'éclisses	2	9 ,600	19 ,200	0 ,1925	3 ,70
Boulons d'éclisses de 0m,25	8	0 ,733	5 ,86	0 ,2625	1 ,54
Coins en chêne	28	»	»	0 ,077	2 ,16
Transport et main-d'œuvre	»	»	»	»	37 ,50
Sabotage des traverses	14	»	»	0 ,15	2 ,10
Total pour 11m,005					290 ,61
Soit pour 1 mètre $\frac{290,61}{11.005}$ =					26 ,40
Le prix du mètre courant avec rails du poids de 42k,540, 14 traverses, 3 tirefonds par coussinet, du type renforcé est de					31 ,90
D'où un prix moyen pour l'Orléans de : $\frac{26,40 + 31,90}{2}$ =					29 ,15
Chemins de fer de l'État					
Voie avec rails de 40 kilogrammes le mètre courant					25f,75
Chemins de fer du Midi					
Voie avec rails de 37k,500 le mètre courant					30f,65

VOIE VIGNOLE

DÉSIGNATION DES ÉLÉMENTS	NOMBRE de pièces	POIDS unitaires	POIDS totaux	PRIX	PRODUITS — PRIX de revient
Paris-Lyon-Méditerranée					
Rail Vignole, type P. L. M. A, de 12 mètres à 34k,200 le mètre courant, posé sur 14 traverses (L + 2)					
Traverses	14	»	»	5,25	73f,50
Rails de 12 mètres	2	410k,400	821k,00	0,150	123 ,15
Paires d'éclisses cornières (P. L. M. A.).	2	23 ,000	46 ,00	0,190	8 ,74
Boulons d'éclisses	8	0 ,750	6 ,00	0,281	1 ,69
Rondelles Grower	8	»	»	0,044	0 ,35
Selles à talons (P. L. M. A)	28	2 ,50	70 ,00	0,184	12 ,88
Tirefonds pour traverses de joint	16	0 ,44	7 ,04	0,31	2 ,18
— intermédiaires	48	0 ,41	19 ,68	0,31	6 ,00
Total pour 12 mètres					228 ,59
Soit pour 1 mètre $\frac{228,59}{12}$ =					19 ,10
Même type					
Pose avec 15 traverses, prix du mètre courant					19 ,95
— 16 — —					20 ,80
— 17 — —					21 ,40
— 18 — —					22 ,00
Type renforcé					
Rail L. P. de 47 kilogrammes posé avec 16 traverses, éclisses, cornières et 2 flasques d'arrêt intermédiaires. Prix du mètre courant					25 ,30
Nord					
Voie avec rails de 12 mètres, de 43 kilogrammes, posée sur 12 traverses avec 4 tirefonds par traverse. Prix du mètre courant					24f,45
Voie avec rails de même type, posée sur 15 traverses avec 6 tirefonds par traverse. Prix du mètre courant					26 ,50
Est					
Voie avec rails de 12 mètres, de 44 kilogrammes le mètre courant, posée sur 16 traverses, avec 2 tirefonds par traverse intermédiaire et 6 tirefonds aux traverses de joint. Prix du mètre courant					24f,00

Comparaison entre le rail à double champignon et le rail Vignole. — La question du choix entre les deux types de voie est encore très controversée ; elle fait, depuis plus de trente ans, l'objet de discussions variées entre les partisans des deux systèmes, sans qu'on soit encore parvenu à lui donner une solution.

M. Couche, dans son *Traité de chemins de fer*, se prononçait ainsi en faveur du rail Vignole dont il annonçait le triomphe définitif : « On ne peut, en somme, contester au rail Vignole une économie considérable d'établissement et d'entretien proprement dit ; une résistance à la rupture au moins égale, ou plus grande à coup sûr, suivant qu'on prend pour terme de comparaison le rail symétrique ou le rail à champignons inégaux ; une sécurité plus complète et une stabilité pour la rotation équivalente en pratique à celle du rail à coussinets. »

M. Maniel, inspecteur général des Ponts et Chaussées, dans un article inséré aux *Annales* de 1871, faisait valoir aussi les avantages de ce rail, sur le type à double champignon et le faisait, d'ailleurs, adopter par la Compagnie du Nord.

M. Sévène, au contraire, dans son *Traité de chemins de fer*, en développant d'une manière assez complète les arguments invoqués par les défenseurs de l'un et de l'autre systèmes, se prononçait personnellement contre le rail Vignole qu'il appelait : « La voie des chemins de fer secondaires ; quand une ligne est appelée à un mouvement un peu actif, quand elle est destinée à desservir une circulation d'intérêt général, la voie à rails symétriques devrait, à notre avis, être toujours préférée » (1876-1877).

Depuis cette époque, la question n'a pas été perdue de vue ; en 1881, une Commission a été chargée de recueillir et comparer les résultats des expériences nombreuses faites sur l'emploi de l'un et l'autre types, afin d'arrêter celui qui devait être adopté définitivement par l'État.

Cette Commission était composée de MM. :

Brame, inspecteur général des Ponts et Chaussées, directeur du Contrôle de l'Ouest ;

Rousselle, inspecteur général des Ponts et Chaussées, directeur du Contrôle d'Orléans ;

Jacqmin, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, directeur de la Compagnie de l'Est ;

Mayer, ingénieur en chef du Matériel et de la Traction aux chemins de fer de l'Ouest ;

Vicaire, ingénieur en chef des Mines, professeur du Cours de chemins de fer à l'École des Mines.

Le rapport de cette Commission, rédigé par son secrétaire, M. Vicaire, concluait ainsi :

« En conséquence, la Commission croit devoir proposer au Comité de l'exploitation technique des chemins de fer d'émettre l'avis :

« 1° Qu'il n'existe pas actuellement de motif absolu de donner la préférence soit au rail à double champignon, ou, pour mieux dire, au rail à coussinet, soit au rail à patin ; que les deux types de voie peuvent donner des résultats très satisfaisants dans tous les cas, à la condition d'employer des rails d'un poids convenable, des traverses bien égales et suffisamment rapprochées, un ballast de bonne qualité et à la condition de les tenir en bon état d'entretien ;

« 2° Que l'emploi des coussinets n'ayant plus pour objet de prolonger le service des rails au moyen du retournement, opération qui n'a plus d'importance économique sérieuse avec les rails en acier, on ne doit pas, lorsqu'on a recours à ce mode d'attache des rails sur la traverse, s'assujettir à donner à ceux-ci un profil symétrique, mais s'attacher uniquement à donner au bourrelet inférieur la forme la plus convenable au point de vue de la résistance du rail et de sa bonne assiette dans le coussinet, en même temps qu'on renforcera le champignon supérieur en vue de l'usure qu'il doit subir ;

« 3° Que, relativement au choix à faire pour les lignes à construire par l'État, les avantages qu'on pourrait espérer d'obtenir par l'adoption d'un type nouveau et spécial de rail ne seraient pas en rapport avec les inconvénients de la complication qui en résulterait dans le service des Compagnies, appelées vraisemblablement à exploiter ces chemins ; qu'il sera donc sage d'appliquer, en général, suivant la disposition de la loi du 29 juillet 1880, les types adoptés pour les lignes principales dont les chemins à construire sont les affluents ; que, si ces types paraissaient entraîner une dépense trop

considérable pour les lignes secondaires, plutôt que d'en créer de nouveaux, il serait préférable d'emprunter à d'autres Compagnies françaises des types plus économiques. »

Rien, dans cette conclusion, n'indique un choix marqué spécialement en faveur de l'un ou l'autre type, dont chacun a ses partisans.

Presque toutes les puissances de l'Europe centrale, l'Allemagne, la Russie, l'Italie, l'Espagne, et aussi l'Amérique, ont adopté le rail Vignole, dont l'emploi paraît devoir se généraliser.

L'Angleterre, au contraire, ainsi que le réseau d'Orléans, a constamment employé le rail à double champignon, et les essais qui ont été faits du rail Vignole n'ont pu réussir à le faire prévaloir. Trois autres réseaux français, l'Ouest, l'État et le Midi, semblent également adopter exclusivement le rail à double champignon.

Nous ajouterons qu'au Congrès des Chemins de fer de 1889, où assistaient des représentants des nations étrangères, il s'est dégagé un courant d'opinion en faveur du rail à double champignon, surtout pour les lignes parcourues par des trains à grande vitesse.

Nous ne pensons pas que cet argument puisse paraître décisif, attendu que, sur le réseau français où les trains parcourent les plus grandes distances avec les plus grandes vitesses, nous voyons figurer, par ordre de vitesse : le Nord, l'Orléans, le Paris-Lyon-Méditerranée et l'Est ; or il n'y a, sur ces quatre réseaux, que l'Orléans qui ait le rail à double champignon.

Les partisans du double champignon ont fait valoir primitivement en sa faveur l'avantage du retournement en cas d'usure ; mais cet avantage avait, même avec le rail en fer, perdu beaucoup de sa valeur, car ce retournement ne pouvait se faire qu'en employant le rail sur des lignes de manœuvre ou à faible trafic ; le calage devenait plus difficile, précisément en raison de l'usure du champignon, qui ne remplissait plus exactement la chambre du coussinet ; les surfaces d'appui, étant plus irrégulières, rendaient l'attache moins solide, ce qui détruisait, par conséquent, la stabilité de la voie.

Avec l'adoption du rail d'acier, l'avantage qui semblait résulter de la faculté du retournement disparaît à peu près complètement, puisque l'exercice de cette faculté paraît être reculé à une époque, sinon indéfinie dans les cas ordinaires, du moins très éloignée par suite de la faible usure du champignon.

L'Angleterre a même renoncé complètement à cette faculté du retournement : elle a abandonné la forme symétrique et adopté pour le champignon inférieur une forme carrée qui s'emboîte mieux dans le coussinet et procure ainsi une plus grande solidité à la voie.

Les partisans du rail à double champignon lui attribuent, en outre, les avantages suivants :

1° Promptitude dans l'enlèvement et plus grande facilité de remplacement en cas d'usure ou de réfection de la voie ;

2° Une plus grande stabilité de la voie au point de vue des efforts transversaux et de la résistance au renversement ;

3° Une meilleure conservation des traverses.

Il est incontestable que le système à coussinets donne plus de facilité pour le renouvellement de la voie ; il suffit de décoincer le rail, sans enlever les tirefonds, pour en opérer le changement. Avec le rail Vignole, au contraire, il faut enlever tous les tirefonds pour changer le rail, ce qui conduit souvent à un nouveau sabotage de la traverse et, par suite, à une usure plus rapide. C'est un travail plus difficile et plus coûteux.

Mais cette facilité de remplacement du rail à double champignon est présentée comme un inconvénient par les partisans du rail Vignole, en ce que celui-ci se prête moins facilement aux actes de malveillance qui peuvent être commis sur la voie : après le passage d'un garde, il est plus facile et moins long de décoincer vingt coussinets que d'enlever les six tirefonds d'une traverse de voie Vignole.

D'autre part, les coins en bois, exposés à l'action variable des agents atmosphériques, se gonflent ou se retractent et se desserrent facilement au passage des trains ; ils nécessitent une surveillance attentive et continue, qui est un des inconvénients du système.

En ce qui concerne la stabilité de la voie et sa résistance

aux efforts transversaux, c'est un argument qui a sa valeur. Aussi nous pensons que les améliorations apportées depuis quelques années au système de pose de la voie Vignole, surtout le genre d'attaches adopté par la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée au moyen d'éclisses-cornières, selles-arrêt et flasques d'arrêt, réparties à des distances à peu près égales sur la longueur du rail, assurent à celui-ci une plus grande rigidité et donnent à la voie la solidité qui semble résulter de l'attache au moyen des coussinets.

Le rail Vignole, dans sa fabrication et à cause de la forme de son patin, exige un acier plus doux qui résiste moins à la rupture que le rail à double champignon fait d'acier plus dur ; mais, par contre, il entraîne une usure moins rapide des bandages des roues, ce qui fait qu'à ce point de vue l'avantage paraît rester au rail Vignole.

Enfin, en dehors de ces diverses considérations, la voie Vignole présente l'avantage incontestable d'une économie très appréciable sur le prix de premier établissement. Dans les renseignements qui précèdent on trouve en effet une différence d'environ 5.000 francs par kilomètre entre les prix de pose des types renforcés de l'Orléans et du Paris-Lyon-Méditerranée, c'est-à-dire en faveur de la voie Vignole.

CHANGEMENTS DE VOIE

Après avoir établi les voies, il est nécessaire, surtout dans les gares, de les relier entre elles, afin de permettre le passage des vagons de l'une à l'autre. Cette communication est obtenue au moyen d'appareils spéciaux, qui constituent ce qu'on appelle les *changements de voie*, ou *branchements*, ou même simplement *aiguilles*, du nom de la pièce principale.

Soit la voie AB (*fig.* 189); supposons qu'on veuille établir un changement ou branchement C, il faut nécessairement qu'aux points de tangence ou de soudure *aa'* on place un appareil qui permette aux voitures de passer, soit par *bc*, sur la voie

principale, soit par $b'c'$ sur la voie branchée ; cet appareil constitue le changement ou branchement.

La file extérieure de la voie branchée C rencontre la file intérieure de la voie principale en T; il faudra encore placer en ce point un appareil spécial interrompant le rail, afin que le boudin de la roue qui suit une file ne soit pas arrêté par la file de rails qui la croise. C'est cet appareil qu'on désigne ordinairement sous le nom de *croisement* ou *traversée*.

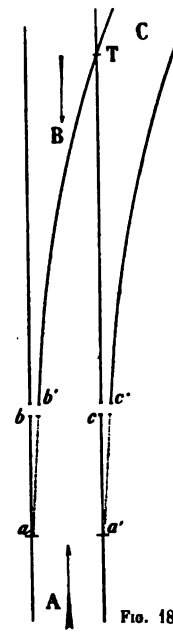


FIG. 189.

Enfin, la partie $b'T$, qui réunit ces deux appareils, doit être constituée au moyen de rails spéciaux ayant une longueur et une courbure déterminées par l'inclinaison du croisement T.

On voit, d'après cela, qu'un branchement ou changement se compose de trois parties distinctes, savoir :

1° Le changement proprement dit ;

2° Le croisement ou traversée ;

3° La voie qui les réunit, ou développement du branchement.

CHANGEMENT SIMPLE

Pour qu'un train venant du tronçon commun A de la figure précédente puisse prendre à volonté la direction B ou C, on avait primitivement constitué ce changement au moyen d'un système de rails articulés *ab* et *a'c*, mobiles solidairement autour d'une charnière *aa'*, se déplaçant simultanément en décrivant les petits arcs *bb'* et *cc'* pour venir se mettre en prolongement des rails de l'une ou de l'autre des voies divergentes.

Mais ce système, qui n'est plus usité que sur les chantiers de terrassements, où il n'y a guère qu'un train en marche

soit dans une direction, soit dans l'autre, avait l'inconvénient pour une ligne à circulation continue, d'établir une interruption de voie dans l'une des directions et, par conséquent, de donner lieu à un déraillement si un train survenait dans cette direction avant que la voie mobile n'ait été remise en place.

Aiguilles. — Ce fut Stephenson qui eut l'idée des changements à aiguilles ou rails amincis à leur extrémité, prolongeant les rails intérieurs des voies dont les deux rails extérieurs étaient continus et fixes[1]. Les rails extérieurs étaient entaillés sur une certaine portion de leur longueur, de façon à recevoir l'extrémité de ces aiguilles, qui étaient assez faibles et s'usaient rapidement.

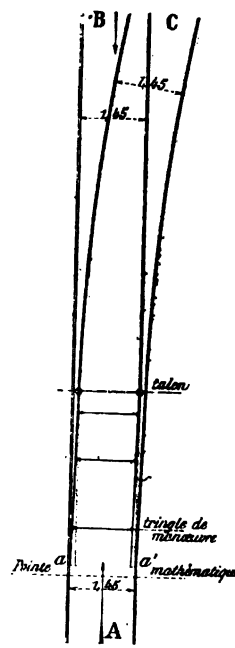


Fig. 190.

L'ingénieur anglais Wyld supprima l'entaillage des rails extérieurs et logea l'extrémité des aiguilles sous le champignon ; les aiguilles n'avaient plus alors, par leur extrémité, qu'à diriger les roues, dont le boudin venait s'appuyer contre, sans avoir à les supporter.

Telle est, sommairement, l'indication du système actuellement usité d'une manière générale.

Un changement simple se compose donc essentiellement de deux aiguilles qui s'appliquent alternativement contre l'une ou l'autre des files de rails extérieurs pour rétablir la continuité de la voie, tantôt dans une direction, tantôt dans l'autre. Ces aiguilles sont reliées entre elles par des entretoises

[1] Ces renseignements et ceux qui suivent sont en grande partie extraits de *la Revue générale des Chemins de fer* du mois d'octobre 1893 et juillet 1894 (Note de M. Gressier, chef de bureau du matériel à la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.

articulées et se meuvent autour de leur *talon*, quand elles sont sollicitées par la tringle de manœuvre du changement placé vers leur extrémité. Le croquis ci-contre (*fig.* 190) montre l'aiguille disposée pour qu'un train venant du tronc commun A puisse prendre la direction C.

Dans la situation normale, si AB est la voie principale, l'aiguille, qui doit assurer le service du branchement C juste au moment où les trains devront s'y engager, doit être normalement dans la position indiquée par le pointillé *a'*, assurant dans les deux sens la communication AB (si c'est une voie unique).

Dans ce cas, un train arrivant dans la direction C prend l'aiguille *en talon ;* le boudin de la roue appuie contre le champignon du rail de la file intérieure, force alors cette aiguille à prendre la position indiquée en traits pleins en *a* ; le train fait ainsi lui-même son aiguillage.

Un changement doit être établi de telle façon que le passage des véhicules se fasse aisément sur la voie principale et sur la voie déviée. Il faut pour cela que l'intervalle entre le rail contre-aiguille et l'aiguille, au talon, soit assez grand pour laisser un passage libre pour le boudin des roues et que la déviation de l'aiguille sur la direction droite du rail contre-aiguille ne soit pas trop accentuée pour former un jarret brusque.

Cet intervalle constitue l'*ornière* du talon ; on lui donne ordinairement de 0m,050 à 0m,065 (Paris-Lyon-Méditerranée et Ouest, 0m,050 ; Midi, 0m,055 ; État 0m,052 ; Nord, 0m,060 ; Orléans et Est, 0m,065).

L'aiguille est toujours établie en ligne droite ; on lui donne de 4m,50 à 5 mètres de longueur.

L'angle que fait l'aiguille avec la direction du rail de la voie principale varie avec la longueur de cette aiguille et son écartement au talon mesuré entre les axes ou entre les bords intérieurs du rail contre-aiguille et de cette aiguille. Cet angle est indiqué par la valeur de sa tangente donnée par l'expression : $\frac{e}{l}$, e représentant l'écartement (0m,11 à 0m,12), et l, la longueur de la voie. Cette tangente varie entre 0m,020 et 0m,028.

Disposition du talon de changement. — Les talons de changement doivent être résistants et tels que les différentes pièces qui les composent conservent leur position relative

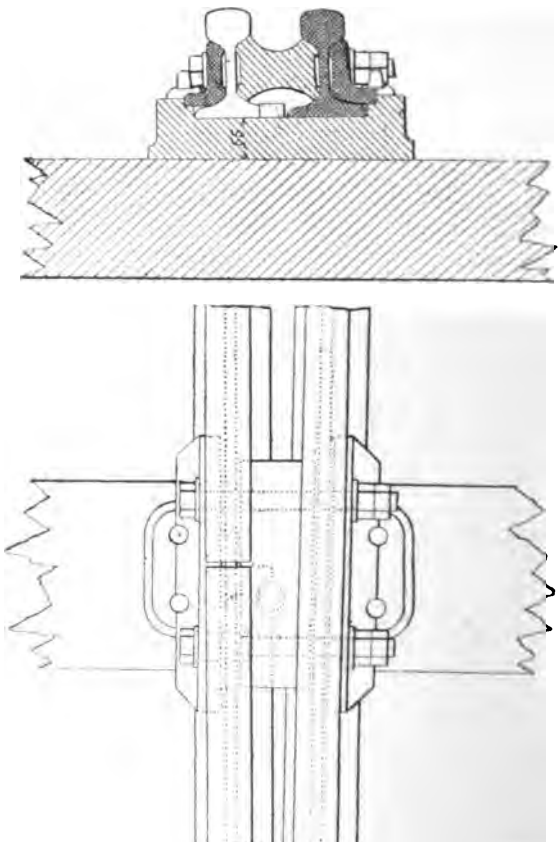


Fig. 191.

sous l'action du passage des roues, tout en laissant à l'aiguille une certaine mobilité, afin d'en permettre une manœuvre facile. Voici la disposition adoptée au Nord (*fig.* 191) :

Le rail faisant suite à l'aiguille est du même type que le rail d'aiguille et le rail contre-aiguille. Ces trois rails reposent sur une selle en fonte de 55 millimètres d'épaisseur; ils sont assemblés par une cale en fonte, deux éclisses et deux boulons.

Comme à la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, l'un des boulons a une partie renflée portant contre la cale, tandis que la tête de ce boulon porte contre l'éclisse, qui est coudée pour permettre à l'aiguille de se déplacer facilement dans le sens transversal.

Les éclisses-cornières sont encochées à leur partie inférieure pour laisser passer quatre tirefonds fixant la selle en fonte sur la traverse.

On compte sur la butée de ces éclisses contre les têtes des tirefonds pour s'opposer au mouvement d'entraînement longitudinal, mais les boulons horizontaux qui servent d'intermédiaires s'ébranlent rapidement, se courbent, et l'assemblage se disloque, ainsi que cela a été constaté à la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. De plus, pour maintenir la selle en fonte, qui a une forte épaisseur, il faut des tirefonds spéciaux d'une longueur plus grande que ceux employés couramment.

Le mouvement d'entraînement de l'aiguille est particulièrement combattu par une encoche à son patin et emboîtant une saillie de la selle en fonte.

La cale en fonte s'oppose au facile nettoyage dans le cas où du ballast s'interpose entre elle et l'aiguille, de sorte que cette dernière peut être plus dure à manœuvrer.

La disposition suivante est adoptée au réseau de l'État pour cet assemblage dans le type à double champignon (*fig.* 192).

Le rail contre-aiguille s'appuie contre la joue d'un coussinet en fonte sur la table duquel reposent l'aiguille et le rail lui faisant suite, réunis par une éclisse du type courant, c'est-à-dire avec partie descendant au-dessous du rail; cette éclisse est entaillée de façon à emboîter la table du coussinet. Une cale en fonte et des boulons horizontaux complètent l'assemblage. La mobilité de l'aiguille s'obtient par la flexibilité de l'éclisse.

Le mouvement de glissement dans le sens longitudinal est

combattu au moyen de l'éclisse entaillée et par l'intermédiaire des boulons horizontaux, sur lesquels seuls on ne peut compter.

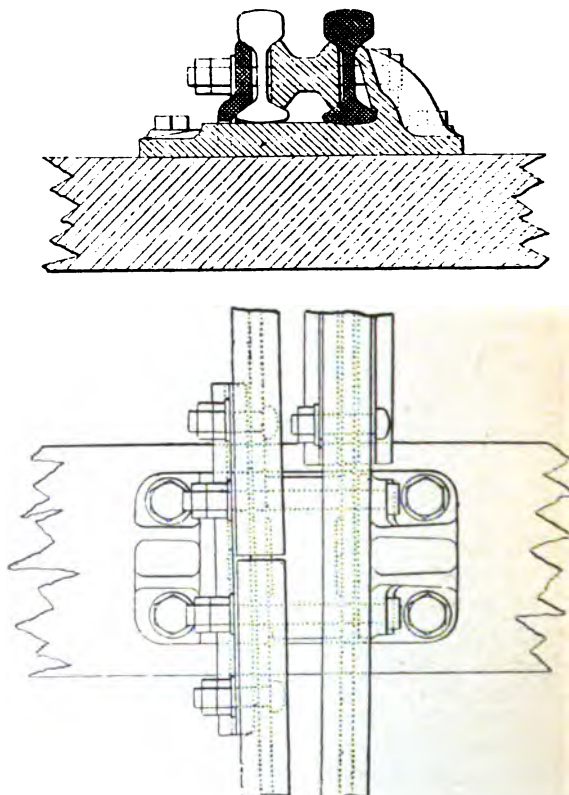


FIG. 192.

Rabotage des rails d'aiguille. — Pour réaliser le système des aiguilles et contre-aiguilles des changements de voie, on prend les rails à âme inclinée au 1/20 adoptés pour ces appareils, et on leur donne la forme voulue en les rabotant dans la partie qui s'appuie sur le rail fixe, de manière à en

retrancher successivement toutes les parties que le raccordement rend communes aux deux rails; à son extrémité l'aiguille disparaît complètement dans la gorge du rail fixe. Le croquis ci-contre indique ce rabotage dans deux coupes différentes (*fig.* 193).

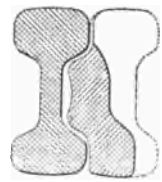


Fig. 193.

Coude préalable du rail d'aiguille. — La partie du rail d'aiguille joignant le contre-rail devant être rabotée suivant *db* du croquis ci-après (*fig.* 194), il est facile de voir que, si on laissait l'aiguille droite, la partie du champignon située à l'intérieur de la voie ne serait plus soutenue par l'âme du rail et ne présenterait pas une résistance suffisante pour maintenir la pointe. Il faut donc préalablement

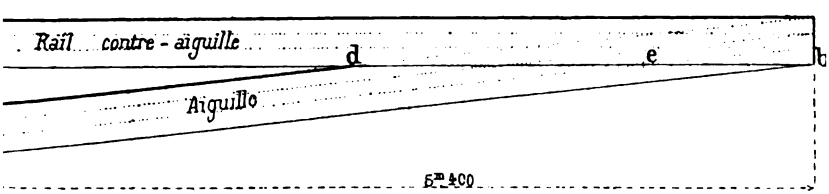


Fig. 194.

couder le rail d'aiguille de façon à ce que l'âme soit intacte jusqu'à l'extrémité. Ce coude se fait à partir du point *d* sur une longueur d'environ 2m,95 et, comme on ne peut laisser à l'extrémité de l'aiguille une pointe trop effilée, on lui donne ordinairement une épaisseur de 0m,008, et on termine cette aiguille à environ 0m,40 en arrière du point *b* qui est appelé pour cette raison la pointe *mathématique* de l'aiguille; la partie coudée n'a plus, par ce fait, qu'une longueur de 2m,55.

Calage des aiguilles à leur extrémité. — La section des aiguilles étant généralement faible, il arrive parfois que leur pointe se soulève quand ces aiguilles sont chargées en un point de leur longueur. Pour empêcher ce soulèvement, voici la disposition adoptée par la Compagnie du Nord (*fig.* 195).

Une plaque évidée est boulonnée contre l'âme de l'aiguille : en regard de cette plaque, un boulon est fixé sur le contre-

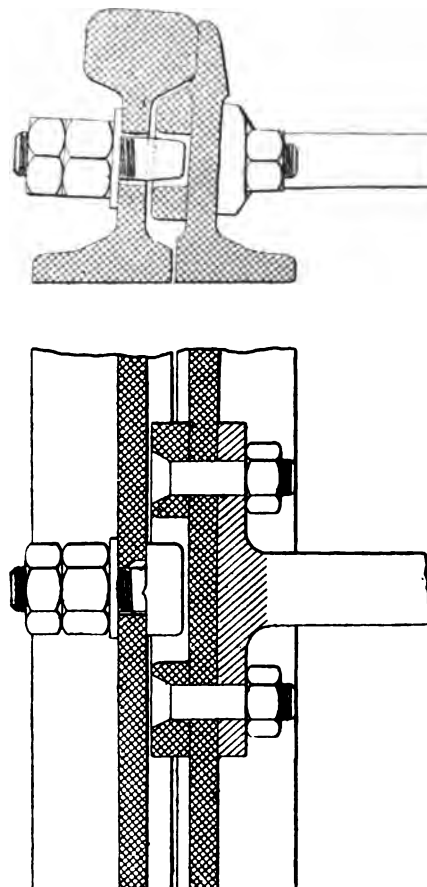


Fig. 195.

rail ; la tête de ce boulon, assez saillante, s'engage dans l'évidement de la plaque de l'aiguille, quand celle-ci est en

contact avec le rail contre-aiguille et l'empêche de se soulever verticalement.

Toutefois, ce soulèvement ne paraît pas être très important, car les autres Compagnies ne se sont pas préoccupées d'y remédier.

Levier de manœuvre des aiguilles. — Les aiguilles sont rendues solidaires par deux ou trois tringles de connexion; elles sont ensuite reliées au levier de manœuvre (*fig.* 196) par une tringle boulonnée à l'aiguille la plus rapprochée de ce

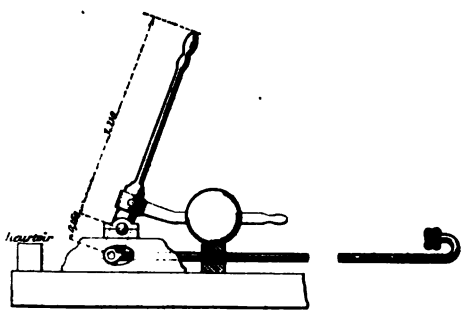


Fig. 196.

levier et recourbée pour pouvoir passer sous le rail voisin. Cette partie recourbée est appelée *col de cygne*. Cette tringle aboutit au petit bras d'un levier mobile autour d'un axe horizontal et portant de l'autre côté deux bras inégaux pour sa manœuvre.

La course est arrêtée dans chaque sens par un heurtoir, et le levier, qui est muni d'une espèce de lentille formant contrepoids, doit être toujours poussé à fond de course, afin que l'aiguille soit faite complètement sur une voie ou sur l'autre. Le grand bras du levier reçoit l'action de l'agent chargé de la manœuvre de l'aiguille pour la direction exigée; le contrepoids sert à ramener cette aiguille à sa position normale quand elle est abandonnée à elle-même, sans qu'elle puisse flotter dans une position intermédiaire, ce qui pourrait occasionner des déraillements.

Le petit bras, muni du contrepoids, est le plus souvent mobile autour du grand au moyen d'un manchon fixé par une clavette ; en sorte qu'on peut à volonté se procurer le secours du contrepoids dans un sens ou dans l'autre par le simple enlèvement de la clavette.

En général, les aiguilles ne sont prises en pointe, sur les voies principales, que dans les gares pour engager un train sur un embranchement, et alors avec une vitesse moindre qu'en marche normale. Dans toute autre circonstance, les aiguilles sont prises en talon. Quand elles sont prises en pointe et que l'embranchement ne doit servir que rarement, il est bon, dans ce cas, de cadenasser l'aiguille, ou du moins le levier, afin que l'aiguille ne puisse être déplacée par malveillance.

Manœuvre des aiguilles à distance. — Les leviers de manœuvre se placent ordinairement en regard de l'aiguille, en dehors de la voie sur l'accotement.

Quelquefois la manœuvre des aiguilles se fait à distance, pour éviter des courses fréquentes et souvent pénibles aux agents, au moyen de tringles convenablement disposées, ramenées par des supports ou poteaux de renvoi parallèlement aux voies et réunies en un poste comprenant plusieurs leviers de manœuvre numérotés. Ce poste est confié à la garde d'un agent chargé spécialement d'assurer le service.

Cette manœuvre se fait aussi par fils ; mais avec ce système on ne peut exercer qu'un effort de traction, et il faut alors avoir un deuxième fil correspondant au mouvement inverse à imprimer à l'aiguille. Ces deux fils sont ordinairement fixés soit autour d'une roue, soit à chacune des extrémités d'un balancier permettant par un mouvement quelconque de faire, à volonté, agir le fil dans un sens ou dans l'autre.

La Compagnie du Nord a essayé un système de transmission électrique qui n'a pas encore reçu la sanction de l'expérience, mais qui est, croyons-nous, destiné à entrer dans la pratique dans un avenir prochain.

CHANGEMENT DOUBLE

Comme on vient de le voir plus haut, le changement simple s'applique à une seule voie branchée.

Le changement est double quand il s'applique à trois voies, c'est-à-dire qu'il donne naissance à deux autres voies nouvelles d'embranchement. Dans ce cas, chacune de ces voies est munie d'une aiguille indépendante placée, la seconde, un peu en arrière de la première, de façon à ce que ces aiguilles puissent être manœuvrées séparément suivant les circonstances.

Les changements sont symétriques quand chacune des deux voies s'écarte d'un côté et de l'autre de la voie principale avec le même rayon ; ils sont dissymétriques quand les voies branchées se trouvent du même côté de la voie mère; dans ce cas les rayons des branchements sont forcément inégaux.

CROISEMENT DE VOIE

On appelle *croisement de voie* l'appareil qui permet le passage du boudin des roues sur chacune des files de rails des voies qui se rencontrent, sans recourir à l'emploi de parties mobiles, de façon à n'avoir aucune manœuvre à faire pour assurer la continuité de la voie dans un sens ou dans l'autre (*fig.* 197).

Quand une voie MN se branche sur une autre voie PQ, la file de rails M reste, à partir de l'aiguille du changement, à l'extérieur de la voie PQ, tandis que la file N vient rencontrer la file P qu'elle doit franchir avant que ces deux voies deviennent indépendantes.

Les deux faces intérieures des champignons des rails se coupent en A, et la réunion de ces deux rails en une seule pièce forme le *cœur* du croisement.

Chacun des rails B et C de la file intérieure, en avant de la pointe du cœur, est recourbé en FF', afin de laisser entre ces

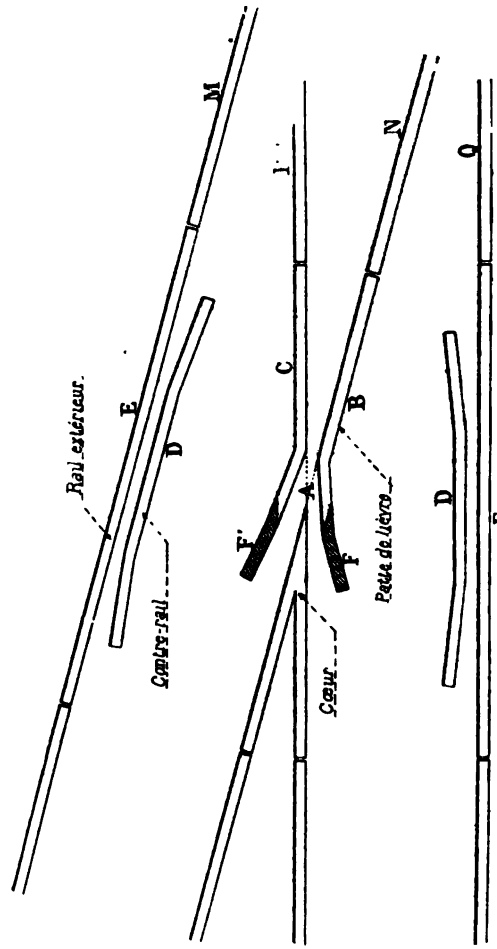


Fig. 197.

rails et la pointe A une ornière suffisante pour le passage du

boudin des roues. Cette disposition des rails coudés fait donner à l'assemblage le nom de *patte* de lièvre.

Les parties coudées F et F' ont pour but de maintenir les bandages des roues dans le cas où celles-ci auraient une tendance à s'écarter du cœur, et donnent ainsi une plus grande fixité à l'ensemble de l'appareil.

Des contre-rails D placés en face du cœur, près des rails extérieurs en E, sont destinés à maintenir l'une des roues de chaque essieu, pendant que la roue conjuguée passe du rail coudé sur la pointe du cœur, ou inversement.

Le croisement ne doit pas se faire sous un angle trop aigu, car la fabrication du cœur serait trop délicate, et cela donnerait une trop grande longueur au branchement. Mais il ne faut pas non plus que cet angle soit trop ouvert, ce qui donnerait un trop faible rayon à la courbe du branchement et formerait une lacune difficile à franchir pour les trains en vitesse.

CROISEMENT SIMPLE

Le croisement est simple quand il n'est fait que sur une file des rails de la voie principale par une seule file de la voie branchée.

Croisements jumeaux. — Dans le cas d'un branchement double symétrique, les deux files de la voie croisée sont coupées par la file extérieure des deux voies branchées ; cette disposition constitue deux croisements simples dits *croisements jumeaux.*

Angles de croisement. — Les différents types de croisement se désignent par la valeur d'une ligne trigonométrique de leur angle.

Soit AOB l'angle ω formé par les files intérieures de deux voies qui se croisent (*fig.* 198); si, avec un rayon OA = 1 mètre, on décrit l'arc de cercle ACB et qu'on mène la bissectrice OC et la tangente DE au point C, la corde AB est le double

du sinus de l'angle $\frac{\omega}{2}$, et la ligne DE le double de la tangente de ce demi-angle ; la ligne BC est la tangente de ce demi-angle ; la ligne BF est la tangente de l'angle ω.

Toutes les Compagnies de chemins de fer n'ont pas adopté la même ligne pour désigner l'angle de croisement; ainsi :

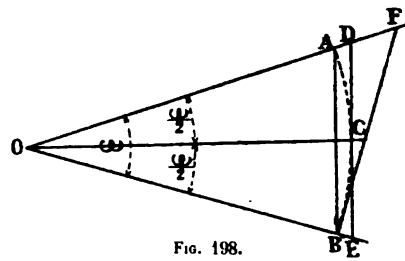


Fig. 198.

La Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée a adopté la corde AB;

La Compagnie d'Orléans et de l'État, la tangente DE;

Les Compagnies du Nord, du Midi, de l'Est et de l'Ouest, la tangente BF.

On entend par angle de $0^m,07$, de $0^m,09$, etc., l'angle d'un croisement dont la corde, mesurée à 1 mètre de la pointe mathématique de ce croisement, donne $0^m,07$ ou $0^m,09$, etc.

Types divers de croisements. — La Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée fait usage de huit types courants de croisements, savoir : $0^m,07$, $0^m,09$, $0^m,11$, $0^m,13$, $0^m,16$, $0^m,18$, $0^m,20$, $0^m,24$, qui correspondent respectivement à des angles de $4°0'41''50$, $5°9'30''05$, $6°18'20''58$, $7°27'13''24$, $9°10'37''50$, $10°19'37''96$, $11°28'42''02$, $13°47'3''12$. Les croisements aux angles de $0^m,09$ et $0^m,11$ sont spécialement usités sur les voies principales où l'on n'admet pas des rayons de branchements inférieurs à 200 mètres. Des types spéciaux sont employés dans les rotondes et remises annulaires de machines.

Le croisement de $0^m,13$, par exemple, correspond à un angle $\omega = 7°27'13''24$, pour lequel $\sin\frac{\omega}{2} = 0^m,065$.

Les Compagnies d'Orléans et de l'État n'ont que quatre types de croisements : 0m,10, 0m,13, 0m,14 et 0m,202 correspondant à des angles de 5° 42' 29, 7° 26' 16" 50, 7° 58' 10", 11° 25' 15".

La Compagnie du Nord fait usage de huit types courants de croisements, savoir : 0m,09, 0m,10, 0m,11, 0m,13, 0m,16, 0m,18147, 0m,20, 0m,2227, et de croisements spéciaux pour quelques traversées.

La Compagnie du Midi ne fait usage que de deux types courants de croisements : 0m,09 et 0m,13, correspondant respectivement à des angles de 5° 9' 11" 30 et 7° 26' 16" 70.

La Compagnie de l'Ouest fait usage de six types de croisements : 0m,083, 0m,096, 0m,131, 0m,167, 0m,194, 0m,267, correspondant respectivement aux angles de 4° 45, 5° 30', 7° 30', 9° 30', 11° et 15°.

La Compagnie de l'Est fait usage des mêmes croisements que la Compagnie de l'Ouest, moins celui de 0m,083; et, au lieu du croisement 0m,167, elle emploie celui de 0m,16, qui correspond à un angle de 9° 5' 25".

Au point de vue de l'entretien des approvisionnements, on a tout intérêt à ne pas trop multiplier ces types.

Tracé des raccordements ou longueur des branchements. — Nous avons décrit les deux parties principales d'un changement de voies, nous allons dire quelques mots du tracé de leur raccordement ou développement du branchement. On aurait pu exécuter ce raccordement en prolongeant l'aiguille en ligne droite, mais cette disposition, en lui donnant une trop grande longueur, aurait nécessité une pointe de croisement trop effilée ; c'est pourquoi ce raccordement se fait toujours en courbe. D'autre part, cette courbe pourrait partir tangentiellement du talon d'aiguille *b* pour aboutir à la pointe *b'* du cœur du croisement, comme autre point de tangence. Cela présenterait plusieurs inconvénients, surtout au point de vue de la construction et de la pose en courbe de l'appareil du croisement en *b' fig.* 199'.

On préfère donc, en général, prolonger en ligne droite la direction de l'aiguille et celle du croisement de quelques mètres, suivant *bc* et *b'c'*, et les réunir ensuite par une courbe.

On choisit presque toujours un rayon en nombre rond, variant ordinairement entre 250 et 300 mètres, et descendant à 150 ou 180 mètres pour des lignes secondaires ou destinées à n'être parcourues que par des trains en manœuvre.

Alors, connaissant les angles d'inclinaison d'aiguille δ et de croisement α, on connaît le supplément de l'angle T des tangentes : $\alpha - \delta$, qui est aussi l'angle au centre ; on a ainsi, avec le rayon adopté, tous les éléments nécessaires pour

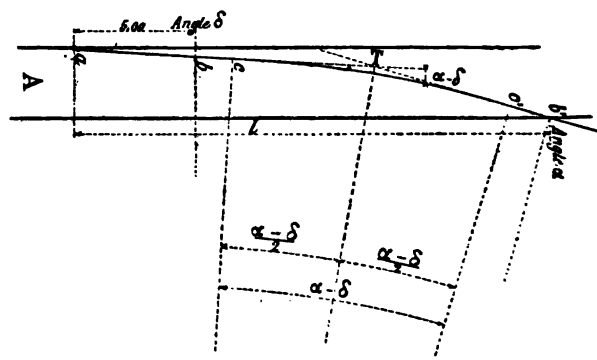


Fig. 199.

résoudre les triangles qui donnent le développement de la courbe ; en y ajoutant les quantités connues, l'aiguille a, les prolongements bc et $b'c'$, on obtient la longueur l du raccordement.

Ces courbes de raccordement, situées le plus souvent dans les gares, sont établies sans dévers, afin de ne pas apporter de gêne dans la pose normale des voies.

Fabrication des pièces de croisement. — Les appareils de croisement sont constitués, en général, par des pièces isolées en acier comme les rails ; la pose doit en être faite avec une grande précision ; on emploie à cet effet des traverses spéciales de fortes dimensions ou bien des châssis assemblés dont les pièces sont plus rapprochées que les traverses de la voie courante.

La section des rails formant le cœur et les pattes de lièvre

est la même que celle des rails employés pour les aiguilles et contre-aiguilles des changements de voie.

Pattes de lièvre. — Les pattes de lièvre sont assemblées avec le cœur à l'aide de cales en fonte et de boulons horizontaux. Elles reposent sur les pièces de bois du châssis par l'intermédiaire de selles en acier et y sont fixées par des tirefonds.

Ces pattes de lièvre sont infléchies de la manière suivante :

En regard des cales de pointe de cœur indiquées par des hachures à la figure ci-après (*fig.* 200), le champignon des

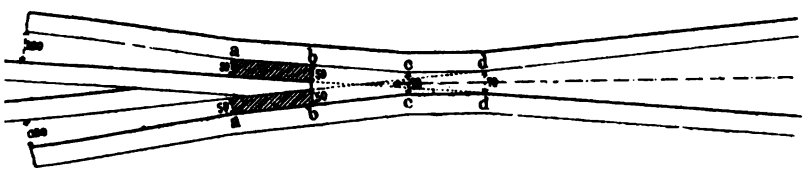


Fig. 200.

rails coudés est à la distance de 50 millimètres de la pointe sur une longueur *ab*. A gauche du point *a*, il s'en éloigne pour en être distant de 100 millimètres à son extrémité. La direction *ab* est prolongée en *c* jusqu'à ce que la distance *cc* soit de 70 millimètres. De *c* en *d* la patte de lièvre est parallèle à l'axe du croisement, et, par suite, la distance *dd* est également de 70 millimètres. Enfin, à droite du point *d*, les rails de la patte de lièvre sont dans le prolongement réciproque des branches du cœur.

CROISEMENTS DOUBLES

Quand les deux files de rails de la voie M coupent les deux files de la voie N, on a ce que l'on appelle un *croisement double* (*fig.* 201).

Ce croquis représente le type adopté par la Compagnie

Paris-Lyon-Méditerranée et indique un croisement à l'angle de 0m,13.

La pièce obtuse du croisement s'obtient au moyen d'un

P.-L.-M. Angle, 0m,13.

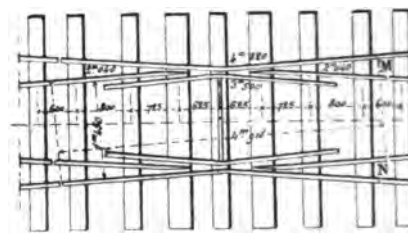


Fig. 201.

rail coudé, et les retours aigus qui remplacent les pattes de lièvre s'établissent au moyen de pièces semblables aux pointes de cœur des croisements simples.

La figure 202 représente le type adopté par les réseaux d'Orléans et de l'État.

Pour guider le mouvement des roues à l'approche de la

Orléans et État. — Angle, 0m,10.

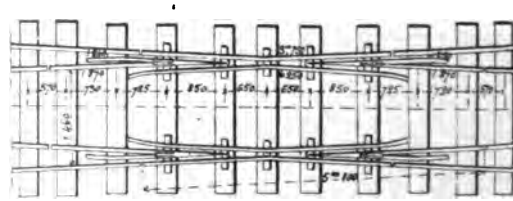


Fig. 202.

pointe, on place de chaque côté, intérieurement, un contre-rail qui retient la roue conjuguée pour permettre à l'essieu de suivre la même voie; ce contre-rail est coudé au droit de la pointe mathématique du croisement, de façon à ménager un passage en avant de la pointe symétrique opposée.

Il existe, comme on le voit, un espace plus ou moins grand entre la pointe mathématique et la pointe réelle du croisement où les roues d'un même essieu ne sont plus guidées par rien. Cette lacune, qui diminue quand l'angle du croisement augmente, peut constituer théoriquement un danger de déraillement ; mais néanmoins, pratiquement, quand l'arrêt et la remise en marche n'ont pas lieu sur l'appareil même, la vitesse acquise suffit à empêcher les roues des véhicules de prendre des directions différentes.

TRAVERSÉES DE VOIE

Lorsqu'une voie MN rencontre une autre voie PQ, chacun des rails de la première coupe ceux de la seconde : on a ainsi une *traversée de voie ;* c'est le nom que l'on donne aussi à l'ensemble des appareils qui permettent le passage des boudins des roues sur chaque file de rails.

Traversée oblique ou cisaille. — Cette traversée peut se

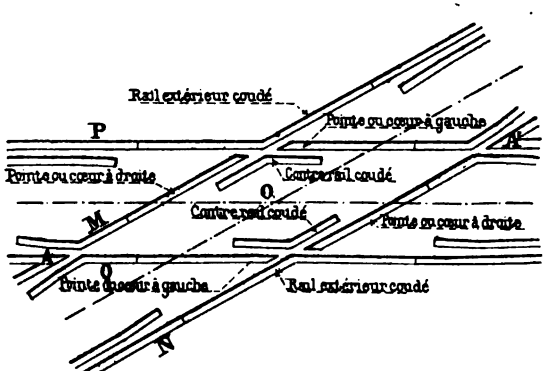


FIG. 303.

faire soit obliquement suivant un angle donné, soit normalement ; de là, les dénominations de *traversée oblique* et *traversée droite.*

Une traversée oblique, comme l'indique le croquis ci-dessus (*fig.* 203), a la forme d'un losange et se compose de deux croisements simples A et A' disposés aux angles aigus de ce losange et d'un croisement double aux angles obtus. La traversée complète est aussi dénommée dans ce cas : *cisaille*.

Par rapport à un observateur placé en O dans l'axe de chaque voie et regardant le croisement simple A ou A', les croisements doubles se composent de deux pointes ou cœur à gauche, deux pointes ou cœur à droite, deux rails extérieurs coudés et deux contre-rails coudés ; ces dernières pièces ont pour but de guider et diriger les roues d'un côté, en les empêchant de buter du côté opposé contre les pointes de cœur. Ces contre-rails sont généralement placés à un niveau un peu plus élevé que les rails voisins, ce qui donne une petite saillie à la partie comprise entre les pointes. Ils doivent être fixés très solidement pour résister aux pressions qu'ils reçoivent des roues au passage des trains.

Traversée droite. — Les traversées droites sont d'un usage fréquent, mais n'exigent pas d'appareils spéciaux ; il suffit simplement que les rails de chaque voie soient interrompus pour livrer passage aux boudins des roues des véhicules de l'autre voie. Si les deux voies qui se croisent sont d'importance secondaire, l'interruption peut se faire sur les quatre rails se croisant deux à deux, au même niveau, comme l'indique le croquis ci-contre (*fig.* 204).

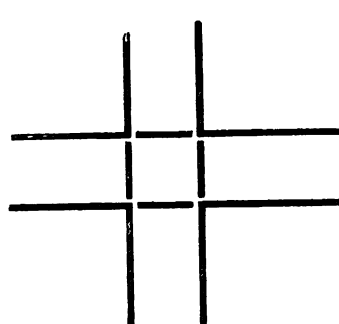


Fig. 204.

Si, au contraire, une voie principale ou à grande vitesse est croisée par une voie de moindre importance, il est préférable de laisser continuer les files de rails de la première et de n'interrompre que ceux de la voie secondaire. Mais il faut alors la surélever

suffisamment pour que les boudins des roues qui la suivent puissent passer sur les rails non interrompus de la voie principale. Par contre, il faut que les rails de la voie secondaire soient interrompus non seulement sur la largeur des champignons des rails de la voie principale, mais encore sur une largeur correspondant aux mentonnets des roues qui doivent y passer (*fig.* 205). Cette interruption, y compris l'ornière du contre-rail de la voie principale, doit avoir environ $0^m,160$ et ne constitue pas une gêne trop sensible

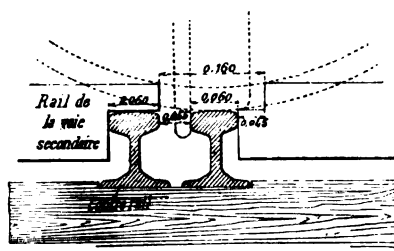


Fig. 205.

pour les trains de la voie secondaire dont la marche est nécessairement très ralentie à ces points de rencontre.

Communications de voies. — Généralement, aux abords des gares surtout, on fait communiquer entre elles deux voies principales ou deux voies parallèles pour les besoins

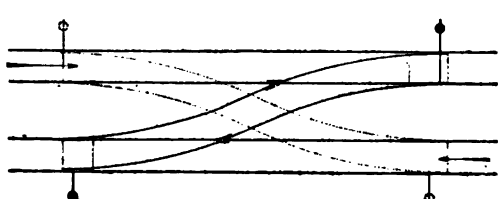


Fig. 206.

aléatoires du service. Ces communications se font au moyen de deux branchements simples, un sur chaque voie, et de

deux croisements simples, un sur chaque file de rails de l'entre-voie. L'appareil porte le nom de *communication*, ou *diagonale*, à cause de la disposition de ses voies par rapport aux voies principales (*fig.* 206).

Si on établit deux communications symétriques, comme nous l'avons indiqué en pointillé au croquis ci-dessus, on obtient alors ce qu'on appelle une *bretelle*.

Dans l'un ou l'autre cas, ces communications doivent être établies de façon que, sur chaque voie, l'aiguille de branchement soit prise en talon par les trains qui y circulent, ainsi que nous l'avons déjà dit précédemment et que l'indique le sens des flèches. Du reste, comme l'usage de ces voies n'est pas permanent, on a soin de cadenasser les aiguilles ou les leviers de manœuvre, après s'en être servi.

Traversée jonction ou appareil anglais. — Lorsque deux voies MM' et NN' se croisent, il n'existe entre elles aucune communication : il est quelquefois utile d'en établir une ; elle s'obtient au moyen des deux aiguilles de branchement simple réunies par une voie en courbe *aa'*, permettant ainsi, indépendamment de la traversée MM', de passer de M en N' et de revenir en N à volonté (*fig.* 207).

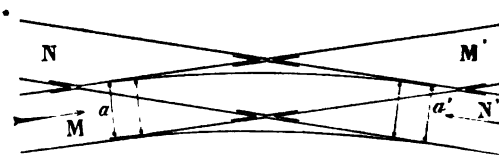


Fig. 207.

C'est cette disposition qui a fait donner à l'appareil le nom de *traversée jonction*, ou *appareil anglais de croisement*, ou simplement *croisement anglais*, car c'est en Angleterre que la première application en a été faite.

L'appareil que nous venons d'indiquer est une traversée jonction simple, car la jonction ou raccordement ne peut se faire directement que dans un sens; quand le raccordement peut se faire dans les deux sens pour chaque voie, de M à N et de N à M', et inversement, c'est une traversée *double*, comme l'indique le croquis ci-après (*fig.* 208).

On ne donne généralement aux aiguilles de ces branchements qu'une longueur de $2^m,90$ à 3 mètres, afin de diminuer la longueur totale de l'appareil dont la traversée est

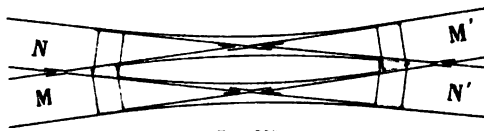


Fig. 208.

faite généralement par les trains en vitesse de manœuvre, ou tout au moins de marche très ralentie.

L'emploi de ce système est surtout appréciable quand on veut faire communiquer un faisceau de voies 1, 2, 3, 4, 5, ..., avec une transversale quelconque AB (*fig.* 209). Au moyen d'une traversée jonction double en *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, on peut établir à volonté la communication entre la voie AB et chacune des directions 1′, 2′, 3′, ..., sans recourir au système des plaques tournantes qui est toujours plus onéreux et exige une manœuvre plus longue.

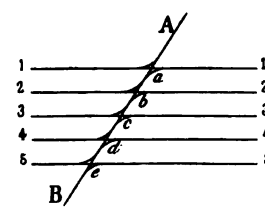


Fig. 209.

Emploi de rails de longueurs spéciales pour le raccordement des appareils de la voie. — La pose de ces divers appareils se fait dans chaque réseau, suivant des types arrêtés et avec des rails de longueurs spéciales appropriées à chaque cas et approvisionnés d'avance, de façon à éviter autant que possible les coupes faites sur le chantier en vue du raccordement de ces appareils entre eux ou avec la voie courante.

Nous donnons ci-après, à titre de simple renseignement, et pour les principaux cas qui peuvent se présenter, dans la pratique, les tracés géométriques des branchements, bifurcations, communications de voies, traversées ordinaires, traversées anglaises, communications de voies croisées, indi-

quant les rails de longueurs spéciales qu'on peut employer dans chaque cas au réseau Paris-Lyon-Méditerranée.

Tracés géométriques de branchements (Planche D). — La figure 210 représente un branchement simple à l'angle de $0^m,07$, et la figure 211 représente un branchement simple à l'angle de $0^m,09$.

La figure 212 (Planche E) représente un branchement simple à l'angle de $0^m,11$.

La figure 213 (Planche E) représente un branchement double avec croisement à l'angle de $0^m,13$ et 2 croisements jumeaux à l'angle de $0^m,09$.

Dans les branchements simples, une des voies est en alignement droit. Dans le branchement double, la voie principale est également supposée droite.

Les rails à chanfrein destinés à raccorder les voies des branchements avec les talons d'aiguilles sont en traits interponctués; les rails de raccordement sont indiqués par des traits forts.

Le rail entaillé du changement a une longueur de $5^m,90$; avec la pose P.. M., il faut un rail à chanfrein à la suite de l'aiguille.

Tracés géométriques de branchements suivis de traversées aux angles de $0^m,09$, $0^m,11$, $0^m,13$ *et* $0^m,16$ (*fig.* 214 et 215 (Planche F). — Dans ces branchements, l'entre-axe est de $3^m,57$; pour le porter à $3^m,73$, il faut remplacer les rails de $1^m,550$ et $2^m,280$ par d'autres de $3^m,150$ et $4^m,050$.

Tracés géométriques de traversées (*fig.* 216, 217, 218, 219, et 220) (Planche G). — Dans le cas de ces traversées avec un angle double et des angles simples différents (*fig.* 216, 217), l'une des voies est supposée en alignement droit. Les rails de raccordement sont, comme ci-dessus, indiqués par des traits forts.

Les traversées aux angles de $0^m,24$, $0^m,382$ et $0^m,455$ n'ont pas de rails de raccordement entre les croisements; ce sont des traversées spéciales. Pour les traversées $0^m,382$ et $0^m,455$ on a indiqué, à la suite des rails coudés, du croisement double et des cœurs des croisements simples, différentes

Fig. 210. — Branchement simple à l'angle de 0m,07.

Fig. 211. — Branchement simple à l'angle de 0m,09.

Branchements simples.

PLANCHE D.

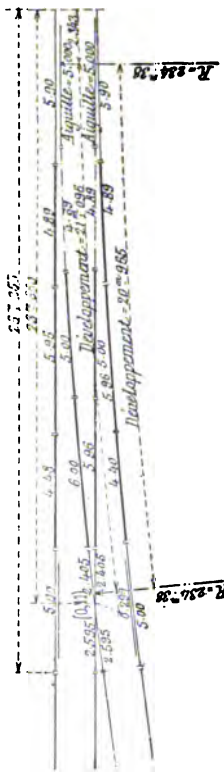


FIG. 212. — Branchement simple à l'angle de 0m,11.

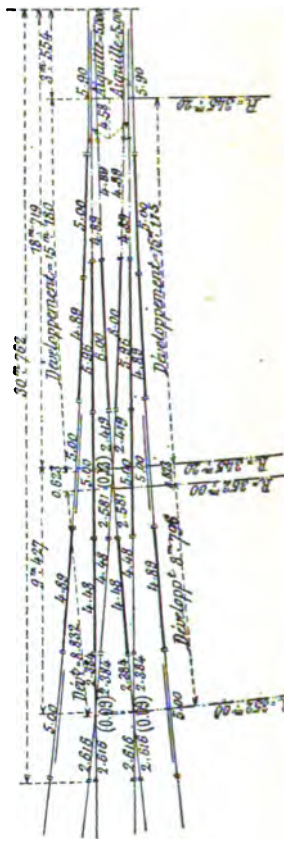


FIG. 213. — Branchement double avec croisement à l'angle de 0m,13.

Branchements.

PLANCHE E.

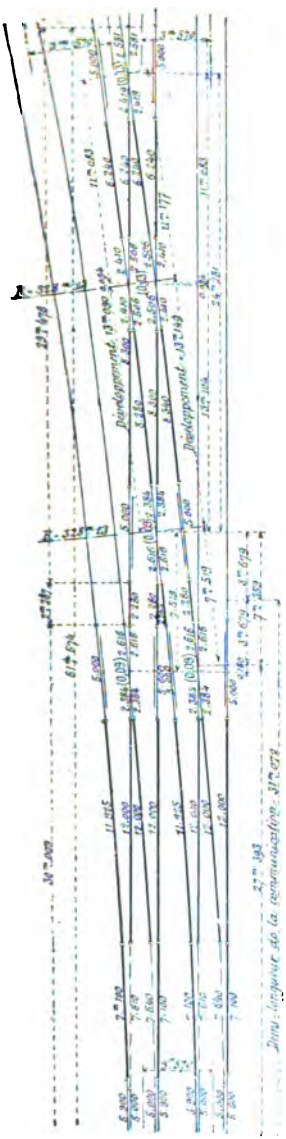


FIG. 214. — Branchement suivi de traversées aux angles de 0m,09 et 0m,13.

FIG. 215. — Branchement suivi e traversées aux angles de 0m,09, 0m,11, 0m,13 et 0m,16.

Branchements et traversées (Ligne à deux voies).

PLANCHE F.

Angles de 0.16-0.18-0.20

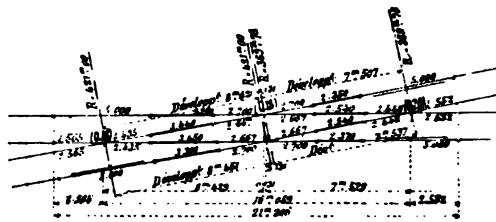


FIG. 216.

Angle 0.18

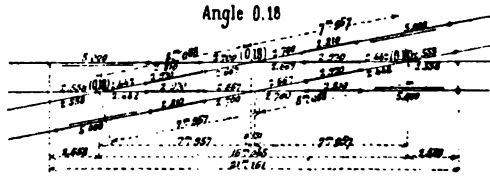


FIG. 217.

Angle 0.24

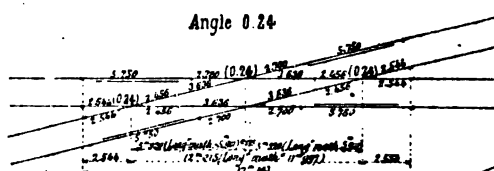


FIG. 218.

Angle 0.382

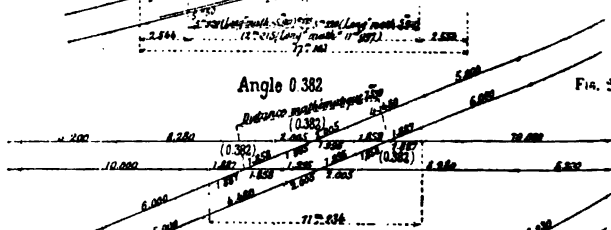


FIG. 219.

Angle 0,455

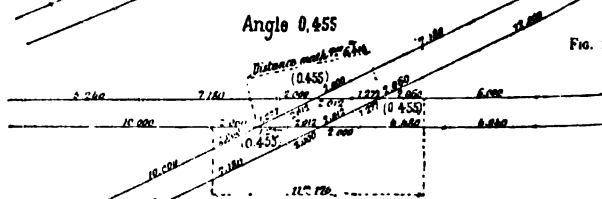


FIG. 220.

Traversées.

PLANCHE G

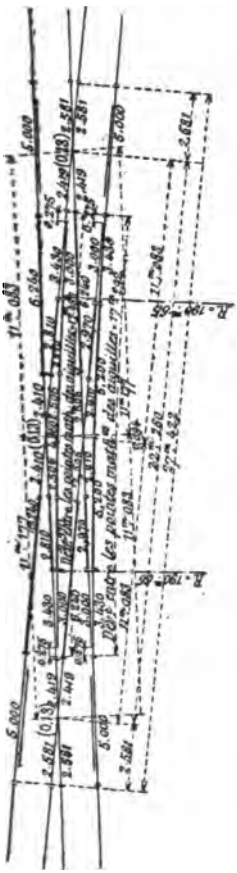


FIG. 221. — Traversée anglaise simple aux angles de 0,13.

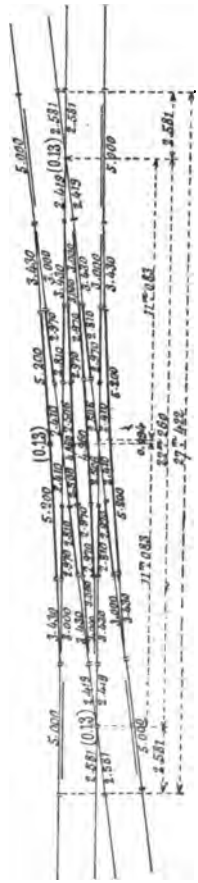


FIG. 229. — Traversée anglaise double aux angles de 0,13.

Traversées anglaises.

PLANCHE H.

combinaisons de rails ne faisant pas partie de la traversée et permettant de ramener les joints en regard sur la même voie.

Tracés géométriques de traversées anglaises simple et double aux angles de 0m,13 (*fig.* 221 et 222) (Planche H.) — Dans les changements de traversées anglaises la largeur de la voie est de 1m,45 au talon et de 1m,46 à la pointe. La différence de 0m,01 est regagnée progressivement sur le rail extérieur du croisement simple faisant suite à l'un des rails entaillés. Les rails de 2m,970 faisant suite aux aiguilles sont encochés au patin à l'extrémité qui doit se raccorder avec le talon d'aiguille.

Pour le complément des cotes de la traversée double, se reporter à la traversée simple.

Tracés géométriques de communications de voies. — La figure 223 (Planche K) représente une communication de voies croisées pour lignes à deux voies avec entre-axe de 3m,57, aux angles de 0m,09, 0m,18 et changements P. M.

La figure 224 (Planche K) représente une communication à l'angle de 0m,11 avec entre-axe de 3m,57 comme ci-dessus.

Les communications de voies croisées doivent se poser avec des croisements doubles 0m,18, dont les rails coudés ont 2m,150 de longueur, au lieu de 5m,40. Ces rails coudés de 2m,150 sont livrés sur demande spéciale.

Les rails de 7m,180 et 4m,940 des files extérieures de rails sont percés pour l'attache des contre-rails. Les rails de 2m,120 de longueur sont obtenus sur place.

Les cotes entre parenthèses (*fig.* 224) se rapportent à un entre-axe de 3m,73. Les rails de 8 mètres ou de 10 mètres sont percés pour l'attache des contre-rails.

Plaques tournantes. — Les *plaques tournantes* sont, comme l'indique leur nom, des appareils destinés à recevoir des véhicules d'une voie, puis, au moyen d'un mouvement tournant, à les faire passer sur une autre voie, le plus souvent normale à la première ou placée par rapport à celle-ci suivant une inclinaison quelconque.

La partie visible de ces appareils comporte un plateau

Fig. 223. — Communication de voies aux angles de 0m,09 et 0m,18.

Fig. 224. — Communication de voies à l'angle de 0m,11.

Communications de voies.

PLANCHE K.

métallique (ou plaque circulaire) muni d'une traversée de voies droites ou rectangulaires pour recevoir les deux essieux d'une voiture, les extrémités de ce véhicule pouvant déborder légèrement de chaque côté.

Cette plaque est montée sur un bâti métallique tournant sur un pivot central au moyen de galets coniques ajustés au pourtour sur un chemin de roulement circulaire, reposant lui-même sur un plateau inférieur dit plateau dormant servant de fondation à l'appareil. Ce dernier plateau est généralement en fonte ajourée posé sur un massif de béton ou de sable soigneusement pilonné; son noyau central formant une espèce de moyeu est destiné à soutenir le pivot de l'appareil. Le tout est entouré d'une sorte de cuve en fonte assez épaisse pour former l'enveloppe de la fondation et retenir le ballast de la voie courante.

Supposons les trois voies 1, 2, 3 (*fig.* 225) traversées par la ligne AA', et munies chacune d'une plaque tournante à sa rencontre avec cette dernière. Si on veut faire passer le vagon V sur l'une quelconque des voies 2 ou 3, on l'amène d'abord en V^1 sur la plaque T_1, à laquelle on fait subir un mouvement de rotation de 90°, suivant l'indication de la flèche, et on le fait passer en V^2; puis, au moyen d'un mouvement analogue de la plaque T_2, on fait passer ce vagon à volonté dans la direction de la voie 2 ou 2'. Si, au contraire, on veut l'amener immédiatement sur la voie 3, on le fait passer directement de la position V^1 à la position V^3.

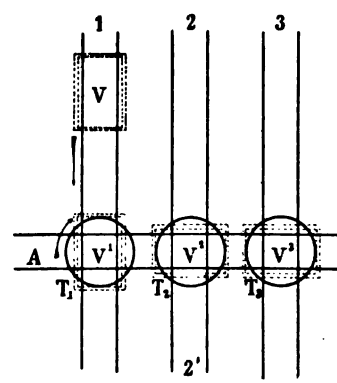


Fig. 225.

Plaque tournante à rails discontinus. — Les plaques tournantes sont en fonte; les rails sont en acier. Ceux-ci se

croisent comme dans les traversées droites ordinaires, ce qui fait que les plaques sont parfois à rails continus, pour la voie principale avec interruption et une légère surélévation pour ceux de la voie traversière, ou à équerre, c'est-à-dire à rails interrompus à la croisée de chaque file de rails (*fig.* 226).

Ces deux dispositions ont leurs inconvénients, par suite des chocs qu'éprouvent les plaques de la part des roues des véhicules qui les franchissent en vitesse ; dans la disposition à rails continus, par suite de la surélévation de la voie traversière, ces chocs sont encore plus sensibles, si la plaque n'est pas parfaitement en place. On évite d'en poser actuellement sur les voies principales ; les plaques à rails discontinus se posent généralement sur des voies secondaires ou des voies de marchandises. En général, ces appareils sont vite détériorés ; aussi les remplace-t-on par des chariots roulants, sur les voies principales, comme nous le verrons ci-après, surtout si on a besoin d'assurer un service journalier d'échange ou d'addition de voitures à un train quelconque.

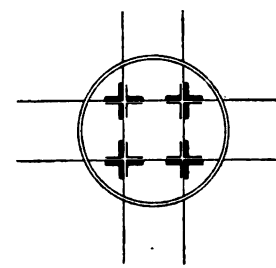
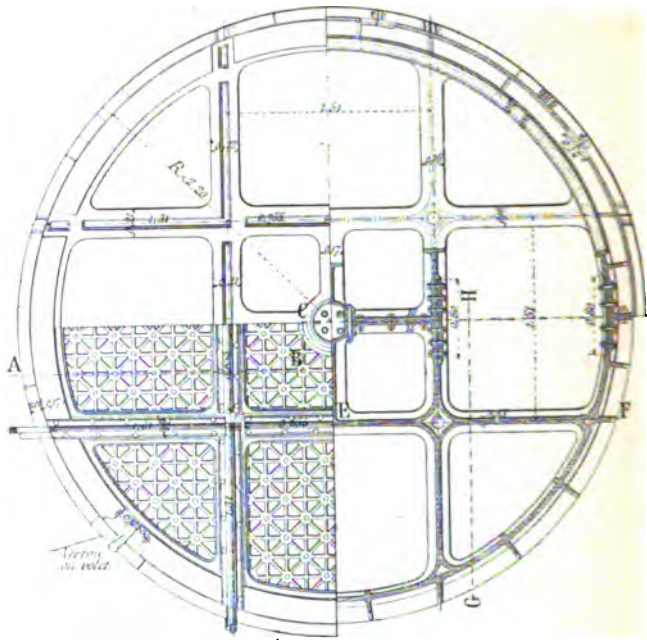


Fig. 226.

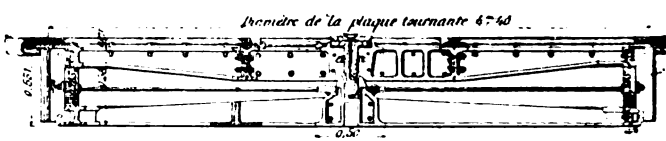
Les plaques tournantes sont munies d'un verrou articulé nommé *valet*, qui se loge dans une encoche formée par une sorte de sabot en fonte, placé sur le bord extérieur de la cuve au droit de chaque voie, mais ne participant pas au mouvement de l'appareil et pouvant ainsi l'arrêter à volonté en regard de l'une ou de l'autre des directions. On trouvera ci-après les dispositions d'une plaque de $4^m,40$, type d'Orléans (*fig.* 227) (Planche I.).

Les plaques tournantes pour les voitures ont généralement $3^m,75$ et $4^m,40$ de diamètre ; cette dernière dimension est la plus courante ; on en fait aussi de 5 mètres ; l'Orléans a des types de $6^m,20$ et $6^m,70$ pour tourner les machines.

Mais on ne peut, avec ces dimensions, tourner les machines qu'isolément, sans leur tender, ce qui, par conséquent, exige



Plan.

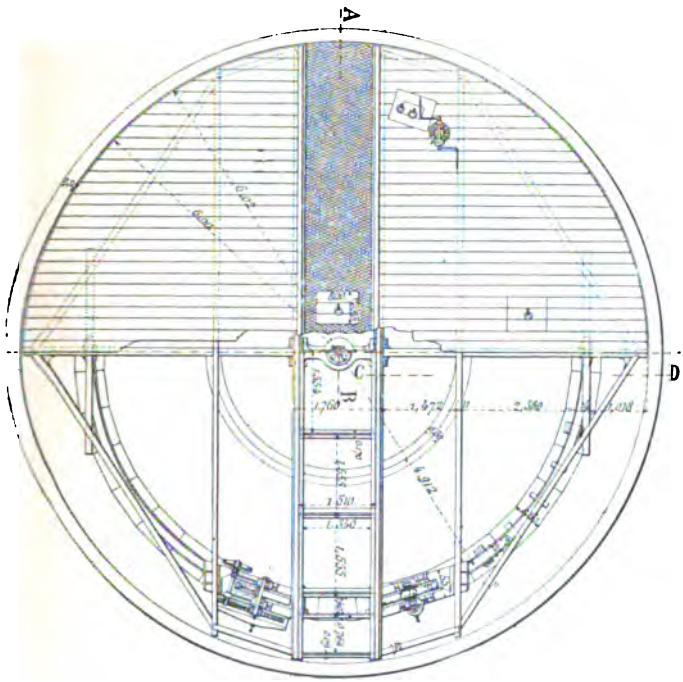


Coupe suivant ABCD.

Fig. 227.

Plaque tournante de 4m,40 (Orléans).

PLANCHE L.



Plan.

Fig. 228.

Pont tournant de 12 mètres (Orléans).

PLANCHE M.

deux manœuvres successives assez pénibles, si on remarque qu'elles sont faites seulement par le mécanicien et son chauffeur. Cette sujétion est encore acceptable dans une gare où le mouvement de l'embranchement desservi est de peu d'importance et n'exige que quelques retournements journaliers; mais, si les mouvements de locomotives sur plaques étaient plus fréquents, ces doubles manœuvres seraient trop gênantes, par suite des communications, notamment des tuyaux d'alimentation existant entre la machine et son tender, qui compliquent plus ou moins l'attelage et le dételage de ces deux véhicules.

Ponts tournants. — On a construit à cause de cela des plaques de dimensions suffisantes pour recevoir et faire tourner en une seule fois la locomotive et son tender; on les a appelées *ponts tournants*, car ces appareils ne sont munis que d'une seule voie destinée au retournement des locomotives qui se fait de bout en bout, suivant une direction opposée, mais jamais suivant une transversale.

La dimension ordinaire en a été longtemps de 12 mètres; elle a été portée à 14 mètres, qui est la dimension courante; on en fait même de 17 mètres. On trouve ci-dessus (*fig.* 228, Planche M) les dispositions d'un pont tournant de 12 mètres, type Orléans.

Ces dimensions et le service auquel ces appareils sont destinés exigent des fondations très solides.

Pour ces motifs, le pivot et la couronne de roulement sont constitués par un massif de maçonnerie reposant chacun sur une couche de béton, et la cuve se compose elle-même d'un mur en maçonnerie fondé également sur béton.

On place sur la couronne de roulement un cercle en fer destiné à recevoir et supporter les galets de roulement qui sont disposés sous chaque extrémité du pont, et non tout autour, comme pour la plaque tournante, puisque l'appareil, n'ayant qu'une voie en charge, ne doit faire qu'un mouvement de 180°, et que les galets qui les supportent sont solidaires du pont par leurs essieux.

Comme la manœuvre de ces ponts tournants, qui portent ainsi, avec la locomotive et son tender, un poids d'environ

40 tonnes, deviendrait assez difficile à bras d'hommes, on adapte à l'appareil un treuil communiquant par un engrenage avec une roue dentée placée derrière un des galets. La manœuvre de ce cric fait avancer le galet et tourner lentement le pont sans exiger un grand effort.

Retournement par voies en triangle curviligne. — Dans une gare d'embranchement, ou tête de ligne, où l'on disposerait d'un terrain suffisant et surtout si les terrassements le permettaient, on pourrait se dispenser d'établir un pont tournant en disposant les voies terminales en forme de triangle curviligne muni d'une aiguille à chacun de ses sommets.

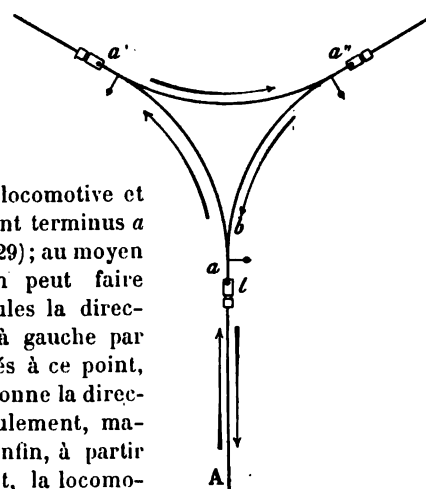


Fig. 229.

Supposons une locomotive et son tender *l* au point terminus *a* de la ligne A (*fig.* 229); au moyen de l'aiguille *a*, on peut faire prendre aux véhicules la direction *a'*, indiquée à gauche par une flèche; arrivés à ce point, l'aiguille *a'* leur donne la direction *a''* par un refoulement, machine en arrière; enfin, à partir de ce dernier point, la locomotive se trouve en position pour reprendre, au moyen de l'aiguille *a''*, la direction *b*A, et le retournement est opéré.

Ce système ne peut être appliqué que dans les contrées où le terrain est à bon marché, comme en Amérique et en Russie, où le fonctionnement des plaques est entravé par les neiges; mais, en France, il est peu pratique à cause du prix généralement très élevé du terrain [1], car il faut au moins un développement de 15 à 25 mètres de voies entre chacun des points *a*, *a'* et *a''*.

[1] *Traité de chemins de fer*, de M. Auguste Moreau.

Chariot transbordeur. — Lorsqu'on a plusieurs voies parallèles à mettre en communication pour des échanges de vagons, comme aux abords d'une remise de machines ou des ateliers, il faudrait établir sur une transversale une ligne de plaques au droit de chaque voie, ce qui nécessiterait une dépense considérable. On peut relier ces voies entre elles au moyen d'un *chariot transbordeur*.

Chariot à fosse. — Soient les voies A, B, C, D, d'une remise ou d'une gare, et S la voie de dégagement servant à y amener les vagons ou à les retirer (*fig.* 230). La première idée a été de construire une fosse en contre-bas du niveau de ces voies et d'y faire rouler, sur deux ou trois chemins de roulement *a*, *b*, *c*, ménagés à cet effet, un chariot C dont la plateforme supérieure portant une voie de même écartement que les voies A, B, C, D, permettait de recevoir un vagon de la voie A et de le faire passer en A', en laissant le chariot en place, ou de l'amener en C' pour le faire ensuite passer sur la voie S par un mouvement du chariot, qui remplace ainsi une ligne de plaques.

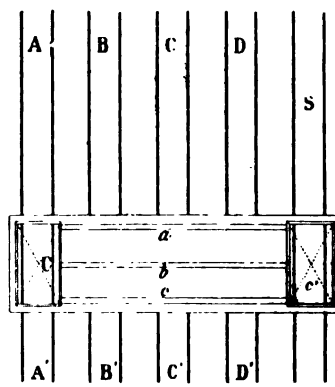


Fig. 230.

Ce chariot ne permet pas de retourner les vagons, mais ce retournement est inutile dans l'espèce.

Mais ce système a un inconvénient qui le rend inapplicable sur les voies principales qui ne peuvent être coupées par une fosse : c'est de créer ainsi une cause permanente d'accidents pour les agents du service. D'autre part, la manœuvre en serait difficile, avec des vagons chargés, le chemin de roulement étant large, puisque le chariot reçoit les vagons en long. Pour ces raisons, on ne peut guère l'employer qu'à l'entrée

ou aux abords des remises et ateliers où la circulation du public et des agents est plus restreinte et où l'on n'a jamais qu'à transporter des vagons vides.

Chariot sans fosse. — Pour le service des voies principales on a dû chercher à établir des chariots sans fosse avec voies de roulement au niveau des rails, ce qui constitue une transversale sans inconvénient pour la circulation sur les voies.

La figure 231 (Planche N) donne en plan, coupe et élévation les dispositions d'un chariot transbordeur sans fosse décrit au numéro de juin 1883 de *la Revue générale des chemins de fer*, par M. Michel, ingénieur en chef du matériel fixe à la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.

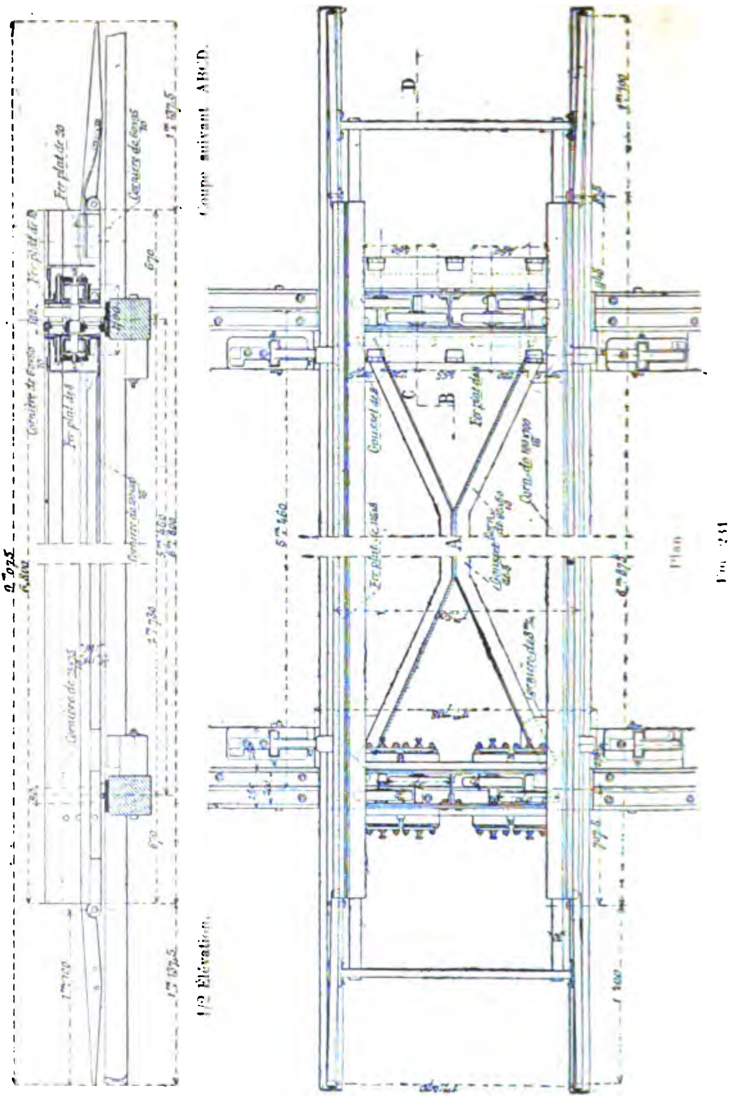
Ce chariot se compose de deux poutres longitudinales de $6^{m},80$ de longueur utile et $0^{m},33$ de hauteur, réunies entre elles par deux entretoises extrêmes doubles et une entretoise centrale simple ; un contreventement horizontal relié aux poutres et aux entretoises assure la rigidité du système.

A l'extérieur des poutres sont fixées des barres d'acier d'une forme spéciale, destinées à recevoir les roues du vagon. Les boudins passent dans une rainure de $0^{m},036$ de profondeur, tandis que le bandage repose sur la partie plate de la barre.

Deux aiguilles de $1^{m},10$ de longueur, mobiles autour d'une articulation et tenues habituellement relevées d'environ $0^{m},03$ par une lame formant ressort et maintenues par une légère barre de fer à l'écartement des rails s'appliquent sur ceux-ci au moment où le vagon est poussé sur le chariot ; elles forment ainsi un plan incliné au moyen duquel le vagon franchit la différence de niveau de $0^{m},146$ entre le rail de la voie et le dessus de la barre ou rail du chariot.

Le chariot est porté par deux systèmes de quatre galets en acier de $0^{m},37$ de diamètre, maintenus entre les deux flasques des entretoises extrêmes portant les paliers dans lesquels tournent les essieux des galets; ces galets circulent sur deux cours de rails spéciaux perpendiculaires aux voies. Ces quatre galets se croisent deux à deux et donnent ainsi quatre points d'appui à chaque extrémité du chariot.

Cette disposition a pour but de franchir sans trop de secousses et d'effort les lacunes qui existent forcément dans



Chariot transbordeur sans fosse.
PLANCHE N.

le chemin de roulement à la rencontre de chacun des rails de la voie principale, qui ne doivent être entaillés en aucune façon pour le passage du chariot.

Le chemin de roulement est obtenu par un rail plat, établi au niveau des voies traversées, muni d'une nervure médiane légèrement en saillie et de chaque côté de laquelle roulent les deux galets de chaque extrémité. Ce rail est placé sur une longrine d'environ 0m,20 de largeur sur 0m,15 à 0m,18 d'épaisseur.

Enfin le système est complété par des taquets mobiles en fonte, qui se relèvent à la main, de chaque côté de la voie à desservir par le chariot, et forment heurtoirs pour arrêter celui-ci; une saillie spéciale adaptée au-dessous de la table de roulement, près de chaque entretoise de support des galets, vient buter contre les heurtoirs relevés et maintient le chariot en face de la voie sur laquelle on n'a plus qu'à pousser le vagon. La manœuvre est faite ordinairement à traction de cheval.

Dans certaines gares très importantes, où il se fait un mouvement considérable de voitures, on emploie des chariots à vapeur actionnés par une petite locomotive établie sur le châssis du chariot.

HEURTOIRS

Dans presque toutes les gares on établit des *heurtoirs* destinés, comme l'indique leur nom, à arrêter les vagons sur les voies de garages ou de remisage. Ils se placent généralement à l'extrémité d'une voie n'ayant qu'une issue, et dite à cause de cela voie en *cul-de-sac*. Ils doivent pouvoir résister au choc d'un vagon laissé par une machine en manœuvre et ne sont pas faits pour les locomotives.

Ils se composent, le plus souvent, d'un massif de terre soutenu par de forts poteaux assemblés verticalement au moyen de contrefiches avec un châssis fixé dans le sol. Ces poteaux sont également reliés entre eux à hauteur des tampons par une double moise solidement boulonnée; des madriers, ordi-

nairement de vieilles traverses, sont cloués par derrière horizontalement, de manière à former une cloison pour retenir le massif de remblai complétant ainsi l'appareil (*fig.* 232).

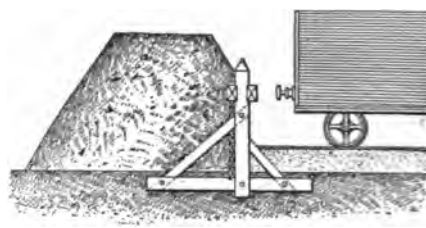


FIG. 232.

Taquets d'arrêt mobiles. — Quand des vagons sont laissés vides ou chargés sur des voies de remisage, il est à craindre qu'ils ne soient mis en mouvement par un choc quelconque ou même sous l'influence du vent, s'ils sont vides; on installe alors sur la voie des *taquets d'arrêt* mobiles pour retenir ces vagons.

Ces taquets sont constitués parfois au moyen d'une traverse en bois un peu moins longue que l'écartement de la voie, afin de pouvoir se replier au moyen d'une charnière adaptée à chaque extrémité, sur le rail, en se longeant entre les bords intérieurs des champignons, quand le taquet est abaissé afin de livrer passage au vagon.

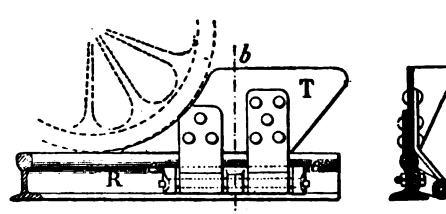


FIG. 233.

Le plus souvent ces taquets sont composés d'une forte lame de tôle T se relevant ou s'abaissant dans le sens transversal

au moyen d'une charnière *cc'* fixée au rail de chaque file (*fig.* 233). Cette lame de tôle est renforcée d'une fourrure, afin d'augmenter aussi son assiette sur le champignon du rail, et son profil est concave, dans le sens de la voie, de façon à épouser la forme de la roue et l'arrêter ainsi moins brusquement. On en place ainsi un sur chaque file pour arrêter les deux roues à la fois et éviter les efforts dissymétriques qui se produiraient sur l'essieu, s'il ne trouvait d'obstacle que d'un côté. On peut retenir ces taquets relevés au moyen d'une tringle qui les maintient à l'écartement de la voie.

ALIMENTATION EN EAU DES MACHINES

Grues hydrauliques. — Pour l'exploitation d'une ligne de chemin de fer, il est indispensable de procurer à la machine l'alimentation d'eau qui est nécessaire à sa marche. Le tender porte son approvisionnement de charbon et d'eau ; sa caisse à eau contient habituellement 5 à 6 mètres cubes pour pourvoir à la marche d'un train ordinaire de marchandises pendant environ une heure et demie correspondant à un parcours moyen de 25 à 30 kilomètres, d'après lequel est réglé généralement l'espacement des prises d'eau d'alimentation.

Néanmoins, sur les grandes lignes parcourues par des trains à marche rapide, l'approvisionnement de combustible est un peu plus considérable, car les trains s'arrêtent moins souvent : les trains rapides Paris-Marseille changent de machines environ toutes les deux heures, le premier relai est à Laroche, après un parcours de 155 kilomètres effectué en deux heures et quart.

L'alimentation se fait généralement par une prise d'eau nécessitant l'installation d'une machine actionnant une pompe d'aspiration et de refoulement et d'un bâtiment servant, s'il y a lieu, de logement au mécanicien de cette machine fixe. Le choix de l'eau est très important : il faut être assuré d'abord d'en avoir en tout temps et, d'autre part, il faut que cette eau soit de bonne qualité et ne contienne pas de

matières étrangères ou de résidus sulfatés pouvant détériorer les organes des chaudières. Cette question doit, par conséquent, être l'objet d'une étude et d'un examen sérieux qui sont faits par les soins du service du matériel fixe.

L'eau est ensuite amenée par une conduite de refoulement dans un réservoir composé d'une cuve en tôle de 5 à 6 millimètres d'épaisseur et de 100, 200, 300 mètres cubes, suivant l'importance de la ligne, disposée sur une tour creuse en maçonnerie d'une hauteur de 4 à 5 mètres au-dessus du niveau du rail, de façon à donner une certaine pression à l'écoulement.

La distribution se fait dans chaque gare suivant les besoins du service. Les tenders s'approvisionnent au moyen d'une grue hydraulique ; c'est ordinairement une colonne en forme de potence dont le bras horizontal est mobile, placée avec une cuve de vidange à l'extrémité du trottoir de chaque voie, de façon à ce que, pendant l'arrêt du train en gare, le mécanicien puisse renouveler sa provision d'eau; un robinet placé sur le socle de la grue règle le débit. L'axe du bras de la grue est à la cote $3^{m},40$ au-dessus du rail.

FOSSE A PIQUER LE FEU

Pendant que le tender stationne sous la grue pour prendre l'eau nécessaire à l'alimentation de la chaudière, le mécanicien pique le feu de sa machine et nettoie son cendrier. Ces opérations ne peuvent se faire en marche ou en pleine voie à cause du peu d'espace entre le cendrier et le ballast et aussi parce que les escarbilles pourraient brûler les traverses; ce travail se fait alors aux divers stationnements.

On établit à cet effet, sur la voie et en avant de chaque grue, à une distance déterminée par la position respective de la machine et du tender, une fosse dite *fosse à piquer le feu* (*fig.* 234).

Ces fosses sont formées de murs, qui ont généralement $1^{m},05$ de hauteur sur $0^{m},50$ d'épaisseur, reposant sur une couche de béton de $0^{m},50$ et sur lesquels sont établies des

longrines supportant les rails; elles ont généralement $1^m,25$ de largeur et environ 12 mètres de longueur; à l'une des extrémités se trouve un escalier de 4 marches placées de façon à laisser au fond, entre la dernière marche et la paroi opposée de la fosse, une longueur d'environ 11 mètres. A

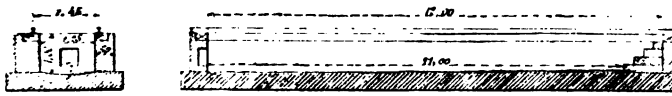


Fig. 234.

l'extrémité opposée à l'escalier on ménage, dans l'épaisseur du mur, une niche pour placer la lanterne du mécanicien, en cas d'exécution du travail pendant la nuit. Enfin, le fond est disposé généralement avec une légère concavité et une légère pente, ce qui permet à l'eau de s'écouler par un orifice disposé à cet effet dans le radier, et de noyer plus facilement les escarbilles provenant du foyer.

SIGNAUX

La circulation et les manœuvres sur les voies sont commandées et réglées par des signaux qui sont établis d'après les projets fournis à la construction par le service de l'exploitation. Le règlement ou code de ces signaux rentrant dans le service technique de l'exploitation, nous n'en parlons ici que comme mémoire.

Ces signaux sont de plusieurs sortes : les signaux de la voie et les signaux de trains.

Les signaux de la voie indiquent la voie libre, le ralentissement ou l'arrêt, et enfin la direction. Ces signaux sont mobiles ou fixes.

Les signaux mobiles se font avec un drapeau le jour et une lanterne la nuit.

Les signaux fixes sont :

Les disques ou signaux ronds ;

Les signaux d'arrêt absolu;

Les sémaphores ;
Les signaux de ralentissement ;
Les indicateurs de bifurcation et signaux d'avertissement ;
Et enfin les signaux indicateurs de direction d'aiguilles.

Les signaux de trains se placent à l'arrière du dernier véhicule et sont appelés pour cette raison signaux de queue ; ils sont faits au moyen d'un drapeau pendant le jour et d'une lanterne de couleur pendant la nuit.

PRIX DE REVIENT DES APPAREILS DE LA VOIE

Il n'est guère possible de donner des prix de revient exacts des divers appareils de changement et de croisement de voies ; ces prix variant chaque année avec le cours des métaux et aussi, pour chaque réseau, suivant le type de voies, le mode de pose et le poids des appareils.

Nous donnons, toutefois, ci-après, à titre de simple renseignement, les prix de revient de quelques appareils des voies, en ce qui concerne principalement les types que nous avons indiqués pour le réseau Paris-Lyon-Méditerranée, en les faisant suivre de prix du réseau d'Orléans, voie à double champignon et de quelques autres appareils des gares.

VOIE VIGNOLE

PARIS-LYON-MÉDITERRANÉE

	francs
Changement simple, modèle P. M. manœuvré à la main, de 7 mètres de longueur, type 1893 avec petit matériel (non posé)	535
Le même, manœuvré à distance	475
Changement double, manœuvré à la main	695
Le même, manœuvré à distance	525
Croisement simple, angle 0,07 avec petit matériel	396
— 0,09	395
— 0,11	394
— 0,16	393
— 0,18 et 0,20	352

	Francs.
Croisement simple, angle 0,13, applicable également aux changements anglais manœuvrés à la main ou à distance.	353
Croisement simple, modèle P. M., angle 0,24, y compris rails extérieurs	376
Croisement simple, angle 0,13 pour branchement double comprenant 5 mètres de voie courante	436
Croisement simple, angle 0,16 pour branchement double, comprenant 5 mètres de voie courante	476
Croisements jumeaux, angle 0,09 pour branchement double avec deux rails de 5 mètres	526
Croisements jumeaux, angle 0,11 pour branchement double, avec 2 rails de 5 mètres	615
Croisement double, modèle P. M., angle 0,13 avec matériel.	398
— 0,18 (*id.*)	355
— 0,24 (*id.*)	386
Cisailles, traversées avec 3 croisements (angles 0,13), 1 croisement double et 2 croisements simples et voies	1.625
Cisailles, traversées avec 3 croisements (angle, 0,13, 0,11, 0,16)	1.704
Changement anglais simple, manœuvré à la main (angle 0,13), appareil et matériel	1.837
Le même, manœuvré à distance	1.584
Changement anglais double, manœuvré à la main (angle 0,13), appareil et matériel	2.425
Le même, manœuvré à distance	2.151
Arrêt mobile, manœuvré à la main et cadenassé	47
Arrêt mobile, manœuvré à distance et mouvement de rappel.	88

POSE DES APPAREILS CI-DESSUS

Changement et croisement simples	50
— — doubles et jumeaux	75
Cisailles complètes	225
Changements anglais simples (non compris croisements)	200
— — doubles —	250
Mouvement de manœuvre et taquets d'arrêt	10

VOIE A DOUBLE CHAMPIGNON

ORLÉANS

Changement simple, longueur 5m,50, tout posé	545
Croisement simple, angle 0,10, longueur 5m,50, tout posé	582

		Francs.
Traversée complète, angle 0,10 avec les croisements, tout posé		1.970
Changement et croisement doubles avec 2 croisements simples, tout posé		2.754
Traversée à aiguilles simple, non compris croisements, longueur 28m,44, tout posé		2.[illegible]
Traversée à aiguilles double, non compris croisements		3.[illegible]
Traversée de voie, diagonales croisées dites bretelles		2.[illegible]
Plaque tournante de 4m,40 à équerres	Orléans.	2.868
— 4m,40 —	P.-L.-M.	3.000
— 5 ,00 —	P.-L.-M.	4.000
— 5 ,60 —	Midi.	3.400
— 6 ,20 —	Orléans.	5.100
— ou pont de 6 ,70 pour machines	—	8.200
Pont tournant de 12m,00 —	P.-L.-M.	18.000
— 14 ,00 —	Nord.	20.000
— 17 ,00 —	Orléans	26.[illegible]0
Chariot roulant à fosse pour voitures ordinaires	Orléans.	1.600
— — grandes voitures	—	2.050
— sans fosse de 6m,80	P.-L.-M.	3.400
— — à vapeur	—	25.100
Prise d'eau : Bâtiment 6.000 francs		
Machine 9.000 —		17.000 [1]
Installation 2.000 —		
Refoulement, le mètre courant environ		10
Tour en maçonnerie supportant le réservoir		8.000
Réservoir en tôle galvanisée de 100 mètres cubes		3.680
— 200 —		6.100
— 300 —		8.980
Grue hydraulique en 0m,150		1.350
— 0 ,250		1.900
Borne-fontaine avec grille		160
Pont à bascule de 20 tonnes		2.300
— 25 —		3.000
Grue de chargement de 6 tonnes à pivot fixe		6.000
Romaine bascule de 500 kilogrammes		150
— 1.000 —		215
— 2.000 —		310
— 3.000 —		375

[1] On compte, en général, qu'une prise d'eau d'alimentation avec machine de distribution, réservoir, etc., revient à environ 60.000 francs.

CHAPITRE II

GARES ET STATIONS

Généralités. — Nous avons vu, lors de la rédaction des projets, qu'un chemin de fer n'est accessible au public qu'en des points déterminés, après des enquêtes spéciales, pour l'embarquement des voyageurs et des marchandises; ces points d'arrêt sont appelés *gares*, ou *stations*, et doivent être munis à cet effet des installations spéciales à l'exploitation des services de la *grande* et de la *petite vitesse*.

Ces installations doivent, par conséquent, être proportionnées aux besoins aussi bien du trafic *voyageurs* que du trafic *marchandises*.

Évaluation du trafic. — Lors de l'établissement des premières lignes de chemin de fer, on ne possédait pas, sur les besoins de l'exploitation, des renseignements aussi exacts que ceux qui résultent actuellement d'une expérience de plus de trente années; aussi s'est-on vu obligé fort souvent d'augmenter, même peu après la mise en service d'une ligne, des installations faites en vue de l'exploitation d'un trafic pour l'évaluation duquel on manquait alors d'éléments d'appréciation. Il convient donc, en général, de se tenir plutôt légèrement en dessus qu'en dessous des limites données par les premières évaluations; cela est toujours prudent, moins coûteux dans tous les cas et surtout plus facile que des agrandissements ultérieurs.

M. Michel, ingénieur, a publié, dans les *Annales* de 1868, l'exposé d'une méthode d'appréciation du trafic, de laquelle il déduit les dimensions à donner aux installations de la grande et de la petite vitesse.

Il estime que, la population d'une région étant à peu près proportionnelle à sa richesse, c'est-à-dire à son produit, le nombre des voyageurs est proportionnel à cette population et le mouvement des marchandises proportionnel à ce produit.

Partant de là, il estime le trafic voyageurs à 6,50 voyageurs par habitant, et le tonnage marchandises à $2^{T},10$ (moyenne des départs et arrivées), soit $4^{T},20$, départs et arrivées compris. Ainsi, prenant, par exemple, une localité de 8.000 habitants, on a comme prévisions du trafic :

Voyageurs : $8.000 \times 6,50 = 52.000$ voyageurs
Tonnage marchandises: $8.000 \times 4^{T},2 = 33.600$ tonnes;

on en conclut, pour surface des bâtiments :

Voyageurs : $52.000 \times 0,01 = 520$ mètres carrés
Quais : $33.600 \times 0,04 = 1.340$ à 1.400 mètres carrés.

Si on applique cette formule, tout empirique, aux stations exploitées dans des conditions ordinaires, on trouve des résultats concordant d'une manière assez générale avec ceux donnés par l'expérience, ce qui lui donne, sauf pour les circonstances exceptionnelles, une valeur assez exacte pour l'appréciation de l'importance du mouvement local d'une station.

Espacement des gares. — L'espacement des stations dépend évidemment de la densité de la population des territoires traversés; sur les premières lignes construites, cet espacement était en moyenne de 8 kilomètres ; sur les lignes secondaires actuellement en construction, la distance entre les stations diminue avec la vitesse commerciale des trains qui les desservent. Ainsi, sur le réseau Paris-Lyon-Méditerranée, nous trouvons, par exemple, depuis quatre ans, huit lignes ouvertes à l'exploitation, représentant une longueur de 312 kilomètres et comprenant 53 gares et stations, ce qui correspond à un espacement moyen de 5 kilomètres.

Voies principales et accessoires. — On distingue, dans une gare, deux catégories de voies : les *voies principales*, celles où circulent les trains à la traversée des gares et allant d'un bout à l'autre de la ligne, et les *voies accessoires*, c'est-à-dire les voies de garage, de manœuvre, et les voies de service en général, pour la manœuvre des locomotives et le remisage des vagons.

Les voies principales sont numérotées d'après le sens de la marche des trains ; chaque train prenant sa gauche sur une ligne à double voie, on appelle *voie impaire* celle des trains s'éloignant de Paris, et *voie paire*, celle des trains qui y arrivent.

La voie impaire est dénommée *voie* 1, et la voie paire, *voie* 2 ; chacune d'elles a son rail gauche et son rail droit dans le sens de la marche des trains (*fig.* 235).

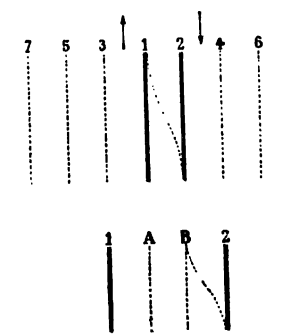


Fig. 235.

Les voies accessoires, en dehors des voies principales et placées à l'extérieur de la voie 1, s'appellent *voies* 3, 5, 7, etc., en partant de la voie 1 ; celles en dehors et à l'extérieur de la voie 2 s'appellent *voies* 4, 6, 8, etc.

Les voies accessoires comprises entre les voies 1 et 2 ou voies de milieu, comme cela se présente dans certaines gares importantes ou de bifurcation, s'appellent *voies* A, B, C, en partant de la voie 1.

Les communications entre les voies accessoires prennent les numéros ou lettres des voies reliées : ainsi une communication entre les voies 1 et 2 ou B et 2 s'appelle communication 1-2 ou B-2, etc. Les croquis ci-dessus montrent ces diverses dispositions.

Dans les lignes à voie unique, la voie est presque toujours dédoublée dans les gares d'une certaine importance, pour permettre le croisement des trains ; les deux voies s'appellent alors *voies principales :* la voie 1 est celle où passent les

trains impairs ; la voie 2, celle où passent les trains pairs.

Quand la voie n'est pas dédoublée, les voies impaires sont celles que les trains impairs ont à leur gauche ; les voies paires, celles que les trains pairs ont également à leur gauche.

Quand une ligne embranchée est à voie unique, cette voie prend, à partir de l'aiguille, le nom de *voie principale* de...., en y ajoutant le nom de la ligne.

Installations du service des voyageurs. — Une gare comporte, en général, deux parties : celle affectée spécialement au service des voyageurs, avec bureaux, salles d'attente et de bagages ; ce sont les installations de la *grande vitesse*, ou *bâtiments d'exploitation ;*

Celle affectée au service des marchandises, avec quais couverts et découverts pour la réception et la manutention de ces marchandises, le remisage des vagons et machines ; ce sont les installations de la *petite vitesse*, ou *halles*, et *quais des marchandises.*

Toutes ces installations doivent être en rapport avec l'importance du mouvement des voyageurs et du trafic à desservir. Dans chaque réseau, l'établissement de ces bâtiments est fait d'après des types spéciaux et des projets arrêtés par le service de l'architecture ; la construction en est naturellement aussi simple que possible, sauf dans certaines gares de villes importantes où les bâtiments sont traités d'une manière un peu plus luxueuse.

Le service de la construction proprement dit n'étant chargé que de l'implantation des bâtiments, nous ne donnerons donc sur cette question que des indications sommaires.

Définition des gares et stations. — Au point de vue de l'importance, et par suite de leurs installations, les gares se divisent en quatre classes : 4e, 3e, 2e et 1re, pour chacune desquelles on adopte, dans chaque réseau, un type spécial déterminé par les besoins du service tant de la grande que de la petite vitesse.

Les gares de bifurcation ou de certaines grandes villes, qui ont pour diverses raisons des installations plus complètes : remises, ateliers, et dont les bâtiments d'exploi-

tation comportent à cet effet des annexes ou de plus fortes dimensions, sont dites : *hors classe.*

En général, au réseau de Paris-Lyon-Méditerranée, on entend par :

GARES, les points de formation ou d'arrêt des trains, pourvus à cet effet des installations nécessaires pour faire un service complet de voyageurs ou de marchandises (grande vitesse et petite vitesse) ;

STATIONS, les points d'arrêt des trains qui ne peuvent intervenir dans la circulation ou la formation des trains : sur double voie elles n'ont ni voie de garage, ni communication 1-2 ; sur voie unique elles n'ont pas de voie d'évitement.

Il existe trois catégories de stations :

1° *Stations ouvertes à la grande vitesse et à la petite vitesse* et aux voyageurs avec bagages, sauf les restrictions générales ci-dessus : ce sont de petites gares ;

2° *Stations ne faisant pas de petite vitesse, ouvertes à la grande vitesse*, c'est-à-dire aux voyageurs avec bagages, chiens avec billet, articles de messageries d'un poids inférieur à 100 kilogrammes, les expéditeurs étant tenus d'aider l'unique agent de la station pour la manipulation de leurs colis, bagages et messageries : ce sont les stations proprement dites ;

3° *Stations-haltes*, ouvertes seulement aux voyageurs sans bagages autres que ceux tenus à la main et aux chiens avec billet.

Les gares et stations proprement dites sont généralement construites en même temps que la ligne ; mais il peut arriver qu'après la mise en exploitation le besoin se fasse sentir d'en établir de nouvelles pour desservir certaines agglomérations de population. Dans ce cas, les intéressés doivent en supporter la dépense et s'entendre, à cet effet, avec la Compagnie sur les dispositions à adopter et les conditions d'établissement (Circulaire ministérielle du 3 juillet 1894). Les décisions ministérielles qui ont fixé le nombre et l'emplacement des stations, d'après l'enquête, ne peuvent être modifiées qu'ensuite de l'accord des Compagnies, l'État ne possédant sur celles-ci aucune autorité pour les obliger à

augmenter le nombre des arrêts prévus au projet primitivement approuvé.

Haltes. — Ces arrêts, stations-haltes, ou simplement haltes, dont les dépenses sont avancées aux Compagnies par les intéressés, sont généralement établis à un passage à niveau existant, de façon à n'avoir pas à créer d'avenue ; les installations en sont nécessairement très restreintes.

Sur les lignes à voie unique, les stations-haltes et les haltes comprennent : un trottoir de 100 mètres de longueur et de 2m,50 à 4 mètres de largeur avec bordure en gazon ou en bois retenue par des piquets ; un guichet pratiqué dans le mur de la maison de garde pour la délivrance des billets ; enfin, un petit bâtiment de 5 mètres environ, sur 3 à 4 mètres de largeur, accolé à cette maison et servant d'abri au guichet et de salle d'attente aux voyageurs. La figure 236 montre les dispositions d'ensemble d'une halte de ce genre.

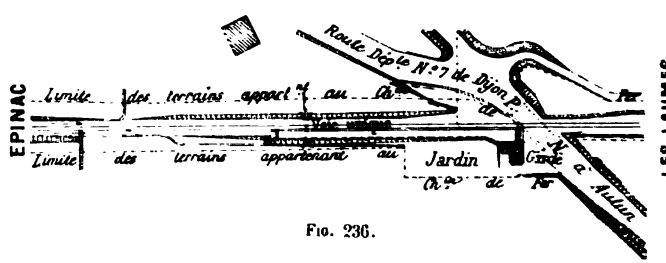


FIG. 236.

L'établissement d'une halte dans ces conditions coûte environ 3.000 francs.

Stations. — Les stations comprennent : un trottoir comme ci-dessus, de 100 mètres de longueur, une annexe à la maison du garde ayant à peu près les mêmes dimensions : 8 mètres sur 5 mètres ; une petite lampisterie accolée à l'annexe ; des cabinets d'aisances à deux sièges avec urinoirs et, enfin, des signaux de protection réglementaires. Les billets sont délivrés, comme dans les haltes, par la femme du garde-barrière,

La figure 237 ci-après indique les dispositions d'une station sur une ligne à une voie. Cette installation revient à environ 12.000 francs.

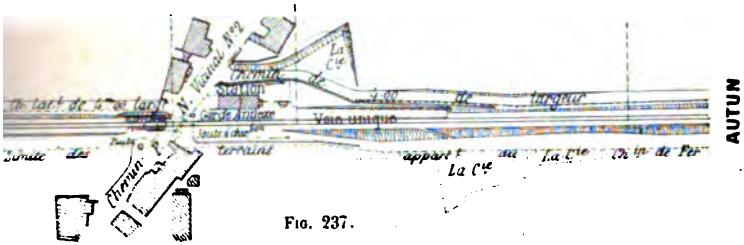


Fig. 237.

Sur les lignes à double voie, et quand il n'existe pas de passage à niveau, l'établissement de la station devient un peu plus important, par suite de la construction d'un bâtiment spécial devant servir de logement à l'agent chargé du service et de la délivrance des billets.

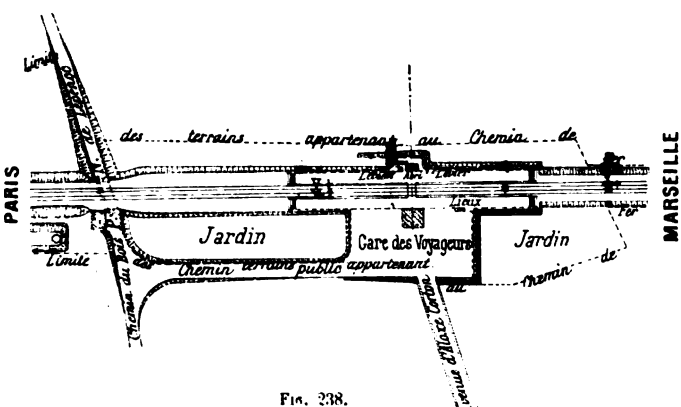


Fig. 238.

On établit alors deux trottoirs, un pour chaque voie ; un petit abri en face du bâtiment et des cabinets avec urinoirs ; c'est, en somme, le bâtiment d'une petite gare de 4e classe, soit environ 9 mètres sur 8 mètres avec logement au premier,

La figure 238 donne les dispositions d'une installation de ce genre, dont le prix de revient est d'environ 25.000 francs.

DISPOSITIONS ET ACCESSOIRES DES GARES

D'une manière générale, et quelle que soit l'importance de la gare, le service des voyageurs comporte ordinairement deux trottoirs, un le long de chaque voie, un bâtiment pour le service de l'exploitation, la distribution des billets et la manipulation des bagages ; un abri sur le trottoir opposé au bâtiment pour permettre aux voyageurs d'y attendre le train et, enfin, des cabinets d'aisances et des urinoirs.

Trottoirs. — Le marchepied des vagons se trouvant ordinairement à $0^m,40$ environ au-dessus du niveau du rail, les voyageurs ne pourraient accéder aux voitures si la plateforme des quais était maintenue à ce niveau. Il est d'usage d'établir, en face du bâtiment et le long de chaque voie, un trottoir pour l'embarquement et le débarquement des voyageurs. On donne à ces trottoirs une longueur suffisante pour recevoir les trains : ordinairement 100 ou 120 mètres dans les gares ordinaires, et exceptionnellement 150 mètres, surtout dans celles où des alimentations d'eau sont prévues. Dans ce cas, les mécaniciens peuvent renouveler leur approvisionnement, sans manœuvre, pendant le stationnement et, d'autre part, la manipulation des bagages se faisant le plus souvent dans le fourgon qui suit la machine, on comprend dès lors que celle-ci ne peut s'arrêter en dehors des trottoirs, pas plus que le fourgon de queue auquel on doit pouvoir accéder au besoin avec les brouettes.

On donne à ces trottoirs une largeur appropriée au mouvement des voyageurs et à l'importance du trafic ; la largeur minima est de 4 mètres ; il est bon de ne pas trop réduire cette dimension, de façon que la circulation des voyageurs ne soit pas trop gênée par la manipulation des bagages.

On place autant que possible ces trottoirs dans une posi-

tion symétrique, c'est-à-dire le milieu correspondant à l'axe du bâtiment ; mais il arrive parfois de les placer d'une façon dissymétrique, ou autrement dit de les croiser en reculant l'extrémité de l'un, pour dégager, par exemple, le branchement d'une voie de garage ou d'arrivée à la gare des marchandises, suivant le terrain dont on dispose. Cette disposition offre, dans certains cas, l'avantage de permettre aux voyageurs de traverser les voies derrière un train arrêté sur l'autre voie ; mais aussi elle a l'inconvénient d'exiger plus d'espace pour les installations de la gare, ce qui fait qu'on ne l'adopte que dans des cas exceptionnels.

Les trottoirs sont généralement bitumés ou formés d'une couche de béton de ciment de 3 à 5 centimètres d'épaisseur,

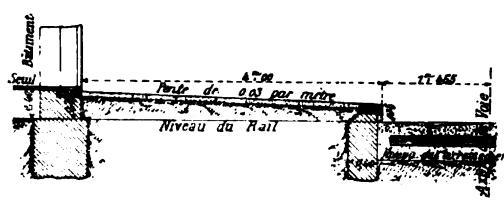


Fig. 239.

ou parfois même d'une couche de sable comprimé. On leur donne ordinairement une pente transversale de 3 centimètres par mètre, conformément au profil ci-dessus (*fig.* 239). La bordure est établie à 0m,25 au-dessus du niveau du rail et

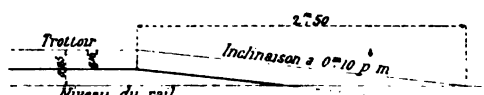


Fig. 239 *bis.*

à 1m,455 de l'axe de la voie ; du côté du bâtiment le trottoir est arrêté à 3 centimètres au-dessous du seuil des salles, de manière à en faciliter l'accès pour le service des bagages.

L'extrémité des trottoirs est raccordée avec le niveau du

ballast au moyen d'une inclinaison à 0m,10 par mètre sur une longueur de 2m,50, comme l'indique le croquis ci-devant (*fig.* 239 *bis*).

Traversées de voies des voyageurs. — Pour permettre aux tricycles ou brouettes de traverser les voies pour le chargement des bagages dans les deux sens, on ménage, en face du bâtiment des voyageurs, des passages à niveau au moyen d'une dépression dans les trottoirs. Le sol de ceux-ci ainsi

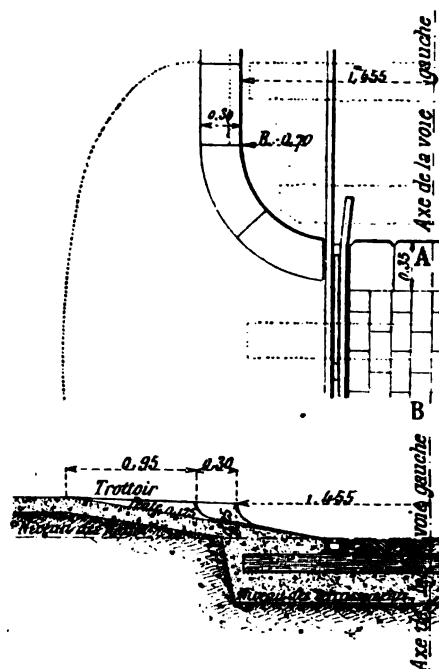


Fig. 240.

que les bordures sont raccordés par une surface gauche au niveau du rail sur une largeur d'environ 2m,50; ces traversées, qui sont quelquefois pavées, sont établies conformément aux dispositions de la figure 240 qui en donne le plan et le profil.

Les trottoirs, surtout sur les lignes à double voie, sont toujours établis sur la gauche de la voie desservie, dans le sens de la marche des trains; de cette façon, les deux voies se trouvent entre trottoirs.

Dans les gares de bifurcation, et lorsqu'on n'a qu'un embranchement, la ligne secondaire devant arriver en gare, pour permettre et faciliter le transit des voyageurs, on établit une troisième voie, pour recevoir cette ligne derrière et à l'extérieur d'un des trottoirs, en la raccordant à une des voies de manœuvre pour le dégagement de la machine. Mais, si l'on a deux embranchements, on est obligé de construire un troisième trottoir, généralement du côté de l'arrivée en gare, de façon à laisser libres les voies principales, sans les faire croiser par celles de ces embranchements.

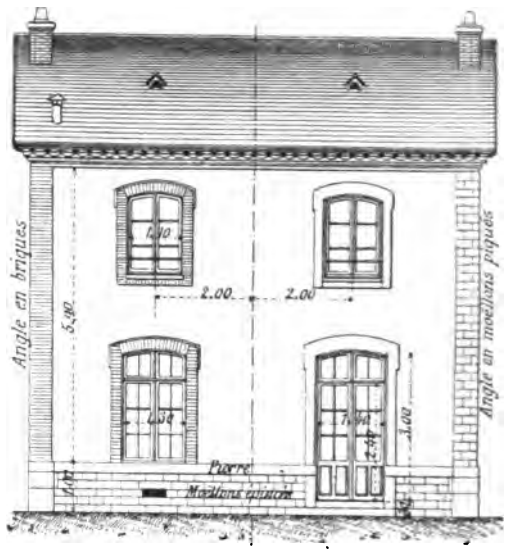
Dans les gares à grand mouvement de voyageurs, on évite de leur faire traverser les voies, afin de leur épargner ainsi de longs détours derrière des trains en stationnement, ce qui peut aussi occasionner des accidents. On établit alors soit des passerelles par dessus les voies, soit des traversées en dessous, correspondant aux trottoirs desservis au moyen d'escaliers dont l'ouverture est entourée d'une balustrade, comme cela est fait à Lyon-Perrache. Le service des bagages se fait au niveau des voies ou, quand la disposition de la gare s'y prête, au moyen d'ascenseurs ou monte-charges établis sur chaque trottoir, comme à la gare de Nîmes.

Bâtiments d'exploitation. — En général, les bâtiments d'exploitation des gares ordinaires consistent en un rez-de-chaussée approprié aux besoins du service et comprenant : vestibule ou salle des pas perdus, bureau de distribution de billets, bureau de bagages pour l'enregistrement et la manipulation des colis et articles de messageries, salle de dépôts des bagages en consigne, salles d'attente pour les voyageurs et bureau du chef de gare.

Dans les gares de 4e et de 3e classes (Planches P et R ci-après), ces bâtiments n'ont ordinairement qu'un étage, qui est destiné au logement du chef de gare. Dans le type de 3e classe (Planche R), une pièce est parfois réservée au logement d'un facteur.

Type de bâtiment de 4e classe.

Élévation de la façade sur la cour.



Plan du rez-de-chaussée.

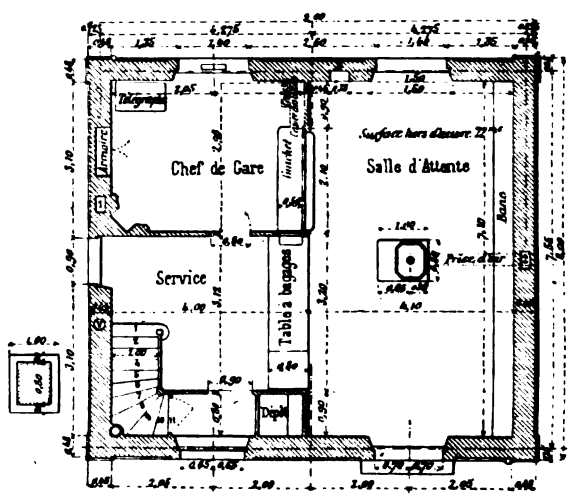


PLANCHE P.

Type de bâtiment de 4e classe.

Élévation de la façade sur la voie.

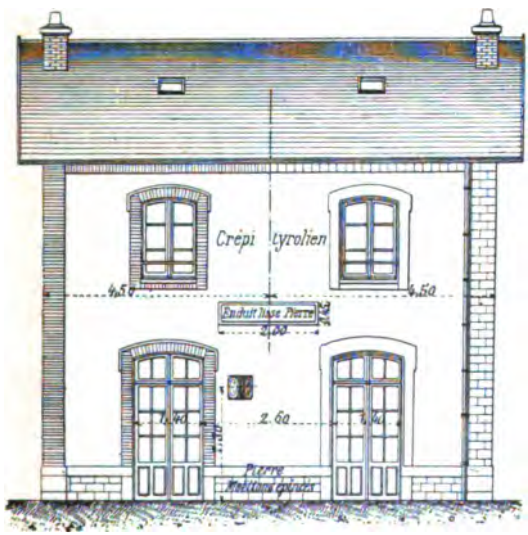
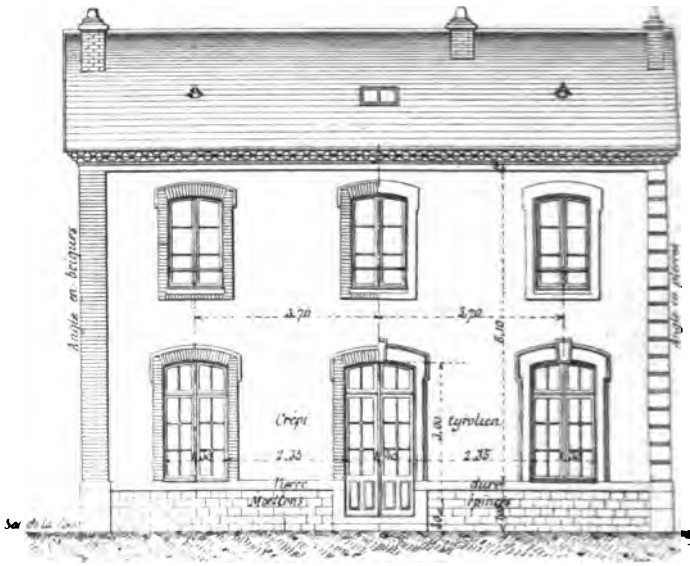


PLANCHE P.

Type de bâtiment de 3e classe.

Élévation sur la cour.



Plan du rez-de-chaussée.

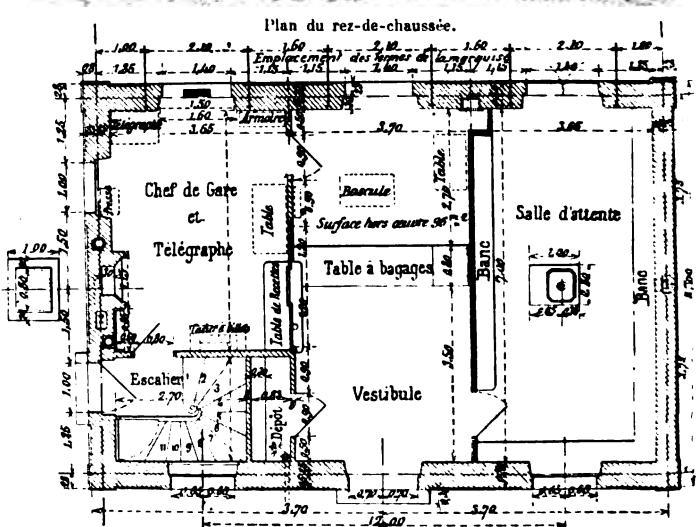
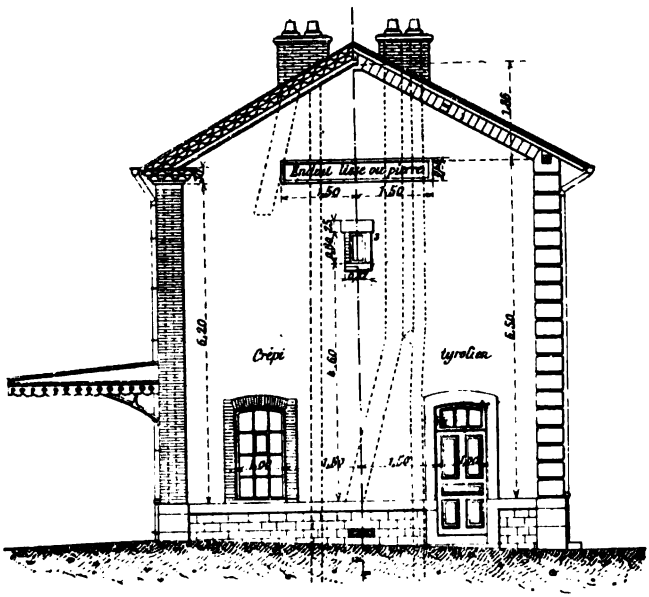


PLANCHE R.

Type du bâtiment de 3e classe.

Élévation du pignon. — Côté des bureaux.



Plan du 1er étage.

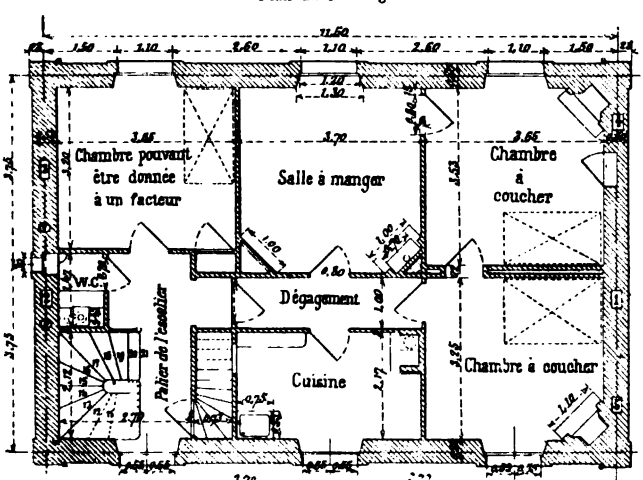


PLANCHE B.

Dans les gares de 2e et 1re classes (Planches X et XI ci-après), le premier étage est réservé exclusivement au logement du chef de gare, et quelquefois d'un sous-chef, quand il y a lieu; le plus souvent celui-ci occupe le second étage avec un facteur-chef.

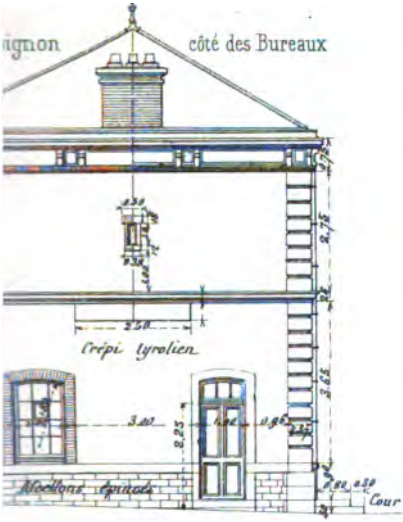
L'escalier des appartements est généralement placé du côté opposé à la voie ou sur un côté du vestibule; le dégagement des pièces de service se fait, au contraire, du côté de la voie, afin de les isoler du public.

Ces bâtiments sont généralement construits d'après des types spéciaux à chaque classe de gares, par les soins du service de l'architecture; le service de la construction n'y intervient que pour leur implantation; aussi nous ne donnerons pas d'autres détails sur leur installation.

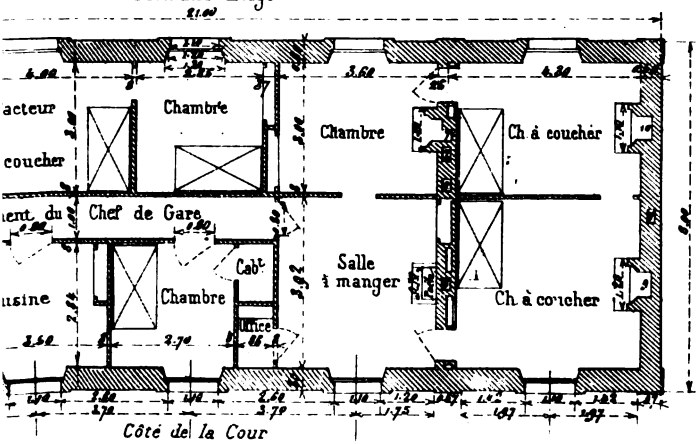
Les Planches P et R ci-dessus, et X et XI ci-après, reproduisent les dispositions des types des bâtiments de 4e, 3e, 2e et 1re classes, adoptés sur le réseau Paris-Lyon-Méditerranée, avec la distribution ordinaire des locaux affectés au service dans chacune de ces classes.

L'aménagement des locaux destinés au service varie, comme on le voit, avec le type adopté, c'est-à-dire avec l'importance de la gare. Ce qu'il faut surtout dans une gare, c'est que les voyageurs y trouvent un vestibule assez spacieux pour leur permettre de prendre commodément leurs billets et faire enregistrer leurs bagages sans éprouver trop de gêne, même dans les moments de grande affluence; qu'ils aient à leur portée des salles d'attente suffisamment vastes pour pouvoir attendre les trains et s'y rendre sans avoir à repasser par le vestibule d'entrée. Dans les gares de quelque importance, on affecte une salle d'attente à chaque classe de voyageurs, ce qui offre encore l'avantage de faciliter le contrôle des billets.

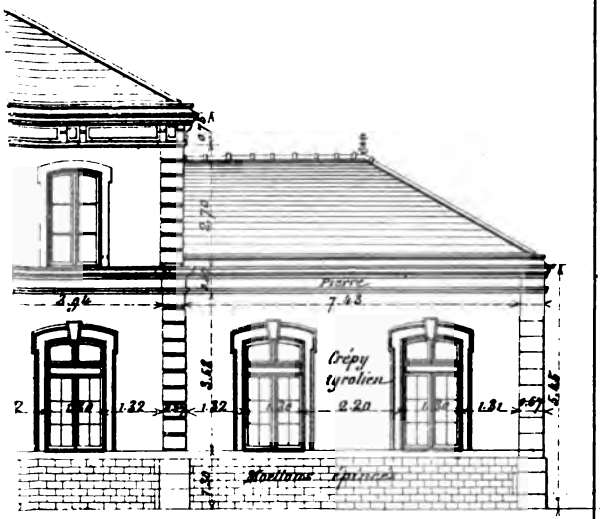
Autant que possible, la salle des bagages doit être à côté du bureau d'enregistrement pour faciliter la confection des bulletins à remettre aux voyageurs. Dans les grandes gares, au lieu de placer les bagages sur une table spéciale en attendant le pesage et l'enregistrement, on fait passer les colis, sur des tricycles tarés, de la bascule et sans autre manipulation à l'enregistrement, et de là dans le fourgon. On évite ainsi l'en

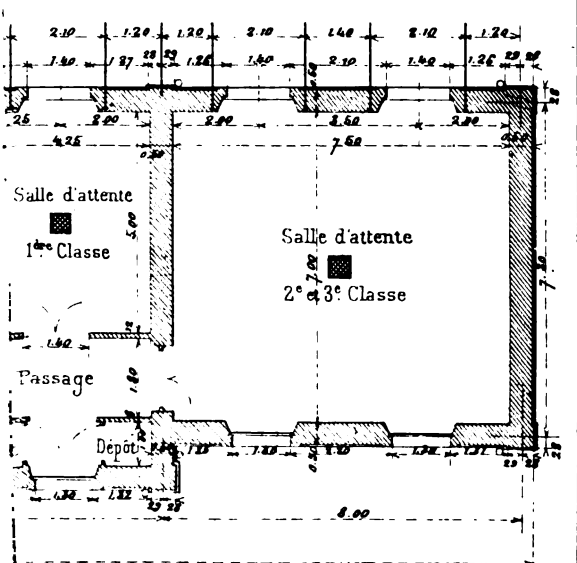


Plan du 1er Etage



P. Colas. dess.-gr., 12, Rue Gobert, Paris.





P. Colas, dess.-gr., 12, Rue Gobert, Paris.

combrement de la salle, mais ce système exige un assez grand nombre de tricycles.

Dimensions des bâtiments. — Nous donnons ci-après les dimensions adoptées sur quelques réseaux pour les locaux destinés au service des voyageurs, suivant les diverses classes auxquelles les types s'appliquent, avec la surface donnée aux salles d'attente dans chaque cas.

COMPAGNIES	CLASSES des GARES	DIMENSIONS des BATIMENTS	SURFACE couverte	OBSERVATIONS
Est	1re	28m,30 × 7m,30	207m²,00	2 ailes de 9m,70 × 7m,00. 1 avant-corps 8m,90 × 8m,00. Salles d'attente surface = 53m²,00.
Paris-Lyon-Méditerranée	1re	36m,00 × 8m,50	306 ,00	Salles d'attente : 1re classe..... 21m²,25 — 2e et 3e classes.... 52 ,50 — 73m²,75
Ouest	2e	19m,00 × 8m,00	152 ,00	Salles d'attente : 1re classe..... 10m²,00 — 2e et 3e classes.... 26 ,00 — 36m²,00
Orléans	2e	19m,00 × 8m,00	152 ,00	Salles d'attente : 1re classe..... 18m²,50 — 2e et 3e classes.... 63 ,00 — 81m²,50
Paris-Lyon-Méditerranée	2e	21m,00 × 8m,00	168 ,00	Salles d'attente : 1re et 2e classes.... 15m²,50 — 3e classe..... 30 ,00 — 45m²,50
Midi	2e	15m, 5 × 10m,5	160 ,00	Salles d'attente : 1re et 2e classes.... 28m²,60 — 3e classe..... 21 ,40 — 50m² 00
Nord	3e	16m,60 × 7m,20	119 ,50	Salles d'attente : 1re et 2e classes.... 11m²,00 — 3e classe..... 20 ,50 — 31m²,50
Orléans	3e	16m,20 × 8m,00	129 ,60	Salles d'attente : 1re classe..... 17m²,00 — 2e et 3e classes.... 49 ,00 — 66m²,00
Ouest	3e	11m,00 × 8m,00	88 ,00	Salle d'attente unique..... 30m²,00
Paris-Lyon-Méditerranée	3e	12m,00 × 8m,00	96 ,00	Salle d'attente unique..... 25m²,50
Ouest	4e	10m,00 × 6m,00	60 ,00	Salle d'attente unique..... 47m²,00
Est	4e	9m,00 × 5m,80	52 ,00	Salle d'attente et vestibule..... 17m²,00
Paris-Lyon-Méditerranée	4e	9m,00 × 8m,00	72 ,00	Salle d'attente unique..... 20m²,00

Marquises. — Comme il convient d'abriter les voyageurs sortant des salles d'attente pour prendre le train et ceux qui en descendent, ainsi que les colis et bagages pendant l'embarquement ou le transbordement, on établit presque toujours sur la face, du côté de la voie, des bâtiments des gares de 1re et 2e classes, et souvent devant ceux des gares de 3e classe, des marquises couvrant toute la largeur du trottoir et s'étendant même un peu au delà, de façon à protéger la sortie des voitures en station sur la voie. Ces abris métalliques sont soutenus par des consoles fixées à la façade du bâtiment et parfois, aussi, surtout dans les gares ayant de larges trottoirs, par des colonnes établies à une distance suffisante de la bordure pour ne pas gêner l'ouverture des portières. Toutefois, cette dernière disposition présentant à ce sujet des inconvénients, on préfère souvent le système des consoles (*fig.* 241).

Dans les gares d'une certaine importance, comme les gares

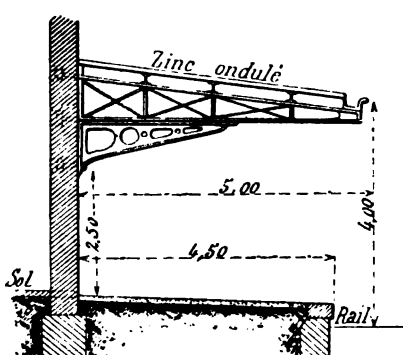


Fig. 241.

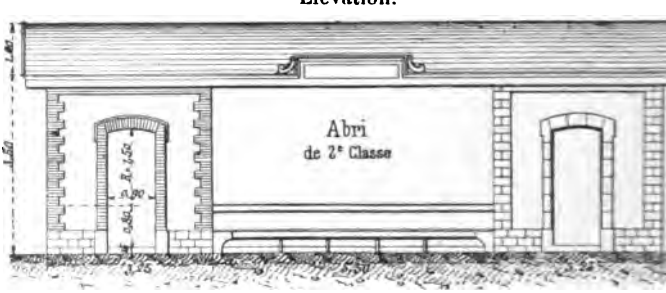
de bifurcation, où il existe un trottoir intermédiaire pour permettre aux voyageurs en transit d'attendre leur train sans être obligés de traverser les voies, on établit généralement sur ce trottoir soit une marquise, reposant sur deux rangées de colonnes situées sur chacun des bords, soit un parapluie reposant sur une seule file de colonnes placées au milieu de

ce trottoir; c'est une marquise double, dont la toiture, en forme de **T** à ailes retroussées (Y), est inclinée de l'extérieur vers la ligne des supports formant le point bas destiné à recevoir les eaux pluviales que l'on fait écouler de distance en distance le long ou, le plus souvent, à l'intérieur des colonnes de support.

Les gares plus importantes sont généralement couvertes entièrement par une charpente métallique. Nous ne nous occuperons pas de ces gares actuellement toutes construites, attendu que les lignes restant à établir ne sont que des lignes secondaires ou des ramifications des réseaux existants.

Abris. — Les voyageurs devant s'embarquer sur les deux voies, il est à peu près indispensable de construire sur le

Élévation.



Plan.

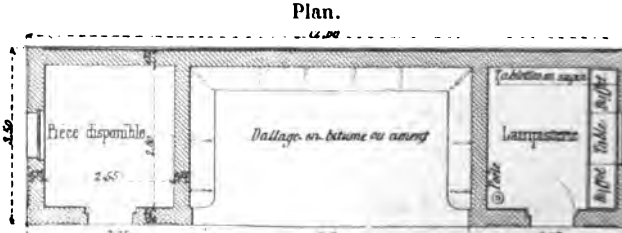


Fig. 242.

trottoir opposé au bâtiment un abri leur permettant d'attendre le train sans être exposés aux intempéries.

Cet abri est généralement placé dans une position symétrique à celle du bâtiment des voyageurs. On y adjoint ordinairement deux pavillons, dont l'un est affecté à la lampisterie, et l'autre à un magasin ou dépôt ; dans certaines gares celui-ci est parfois occupé par le bureau du commissaire de surveillance administrative.

Dans les gares où il existe un trottoir intermédiaire affecté au service d'un embranchement, ce trottoir ayant ordinairement une largeur de 7 mètres, on établit quelquefois un abri double, dont on diminue un peu la profondeur pour ne pas trop restreindre la largeur du trottoir au droit de cet abri. C'est pour cette raison qu'il peut être préférable, dans ce cas, d'établir une marquise double sur une partie au moins, de la longueur du trottoir.

La figure 242 représente en élévation et en plan les dispositions d'un type d'abri pour gare de 2e classe de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée. La figure 243 indique la position de l'abri par rapport au trottoir.

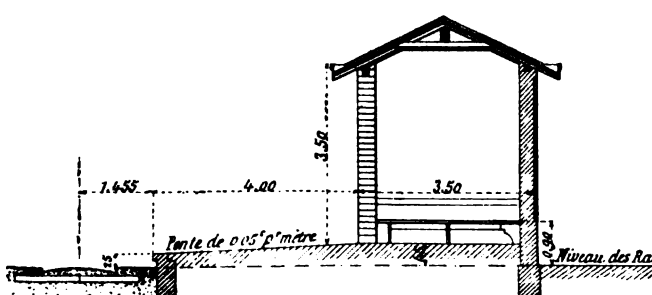


Fig. 243.

Le type adopté pour les gares de 3e et 4e classes a ordinairement 6m,60 sur 3m,50.

Cabinets d'aisances. — Les cabinets d'aisances sont indispensables dans toutes les gares et le sont beaucoup plus encore dans les gares de bifurcation où ils sont établis le plus souvent sur les trottoirs intermédiaires ou d'entre-voie. Dans les gares ordinaires, ils sont quelquefois accolés à l'abri, ou

Élévation côté de la voie.

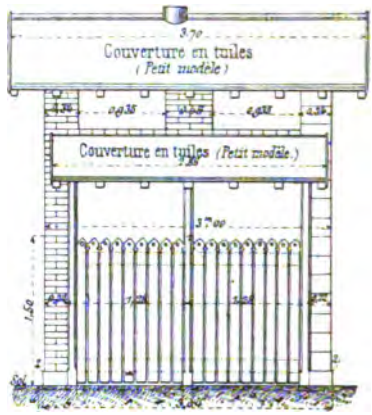


Fig. 244.

Plan.

Côté de la voie.

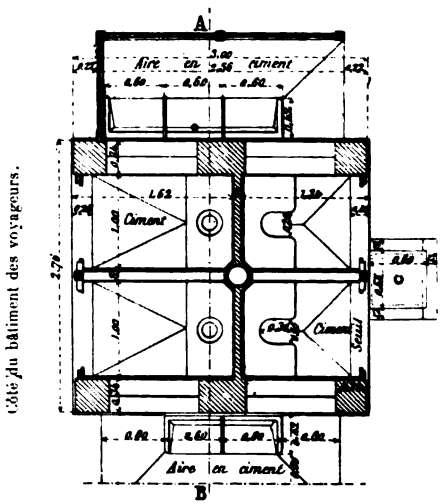


Fig. 245.

Cabinets d'aisances.

PLANCHE 8.

situés par derrière, ce qui peut être incommode pour les voyageurs, surtout pendant l'été, à cause des odeurs qui s'en dégagent, malgré les précautions prises pour éviter cet inconvénient. Aussi, la plupart du temps, on les installe dans un petit bâtiment spécial, situé à une certaine distance du bâtiment des voyageurs ou de l'abri, dissimulé au bord extérieur du trottoir, derrière un massif de verdure et à cheval sur la

Cabinets d'aisances
Coupe AB

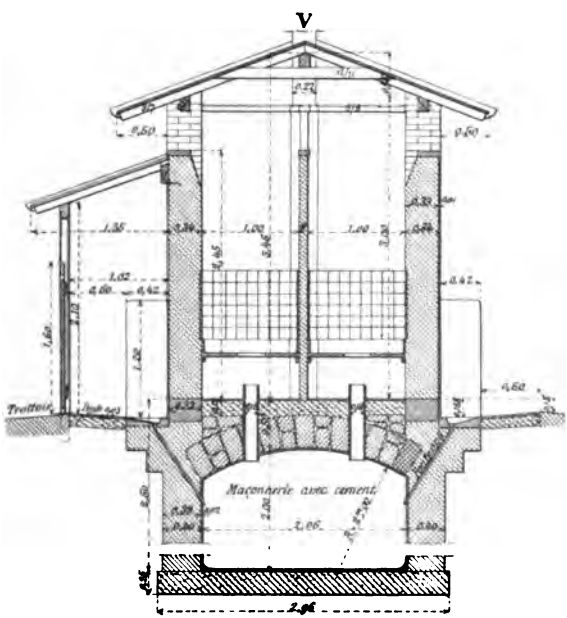


Fig. 246.

clôture, de façon à en permettre l'accès aux voyageurs qui se trouvent sur les trottoirs ou dans la cour. Ces cabinets sont à 2, 4 ou 6 sièges à la turque, selon l'importance du mouvement de la gare ; un côté est disposé pour les dames, et l'autre pour les hommes.

Les cabinets doivent être, en général, bien aérés et tenus très proprement; les murs sont, suivant les circonstances, garnis d'une plaque d'ardoise ou d'un carrelage verni. Des urinoirs sont accolés aux cabinets, côté des hommes, et pourvus autant que possible d'un filet d'eau courante.

Les figures 244, 245, 246 montrent en élévation, plan et coupe les dispositions du type de cabinet d'aisances à 4 sièges pour gares de 3e classe de la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.

Cour des voyageurs. — Indépendamment des installations qui précèdent, il est nécessaire de réserver un emplacement, ou lieu de stationnement, aux voitures qui viennent à la gare amener ou attendre des voyageurs. Cet emplacement est dénommé *cour des voyageurs*. On donne ordinairement à cette cour une longueur d'au moins 40 à 50 mètres, selon l'importance de la gare et une largeur de 20 à 25 mètres. Le sol est généralement réglé, du côté du bâtiment, à $0^m,10$ en dessus du niveau du rail, avec une pente transversale de $0^m,02$ par mètre pour faciliter l'écoulement des eaux de pluie. Lorsque la configuration du sol ne se prête pas à cette disposition, la cour est établie avec la même pente que ci-dessus à partir du chemin ou avenue par lequel on y arrive, et on accède alors à la gare au moyen d'un escalier ou d'un perron disposé en conséquence.

Avenues. — Les chemins ou avenues que les Compagnies sont obligées d'établir pour relier les gares et stations aux voies publiques de la localité sont la propriété du chemin de fer et font partie intégrante du domaine de celui-ci auquel incombe, dans ce cas, les frais d'éclairage et d'entretien qui s'y rapportent.

Les riverains sont soumis, par conséquent, aux règles du droit commun, au point de vue de l'alignement, des constructions qu'ils pourraient avoir l'intention de faire le long de ces avenues et des accès que la Compagnie peut, suivant les circonstances, leur concéder à titre précaire et révocable.

Aussi les municipalités ou le département demandent généralement le classement de ces avenues comme dépendances

du réseau des voies communales ou vicinales. Ce classement est fait par un décret rendu par le Ministre de l'Intérieur, sur l'avis de son collègue des Travaux publics, sanctionnant l'accord intervenu à ce sujet entre la Compagnie et les services intéressés.

SERVICE DES MARCHANDISES

Pour les marchandises amenées à la gare et destinées à être expédiées par le chemin de fer, comme pour celles que les trains apportent et qui doivent être enlevées par les destinataires, il convient d'établir un lieu de dépôt et d'attente, car le chargement et le déchargement ne peuvent se faire immédiatement de la voiture en vagons, et inversement. On établit à cet effet des *quais*, ou *halles à marchandises ;* c'est ce qui constitue les installations du service de la petite vitesse, beaucoup plus simples, on le comprend, que celles de la grande vitesse.

Certaines marchandises pouvant attendre à découvert le moment de leur embarquement ou de leur enlèvement, comme les matériaux de construction, pierres, bois, fers, etc., il suffit d'un *quai découvert* pour les entreposer.

Quais découverts. — Un quai à marchandises est ordinairement placé dans une cour spéciale aménagée à cet effet et dite : *cour des marchandises ;* il est bordé d'un côté par une voie qui le rend accessible aux vagons. Il se compose généralement d'un terre-plein entouré de trois côtés par un mur en maçonnerie et élevé d'environ 1 mètre au-dessus du niveau du rail ou de la cour pour permettre le transbordement des marchandises de vagon à quai, du côté de la voie, ou dans les voitures du côté de la cour.

On ménage, sur la quatrième face, une rampe d'environ 5 mètres sur 4 pour permettre aux voitures l'accès de ce quai, qui est disposé de façon que cette rampe soit tournée du côté de l'entrée de la cour des marchandises (voy. le plan, Planche T, *fig.* 247).

Les quais destinés aux transbordements des marchandises

Quais couvert et découvert.

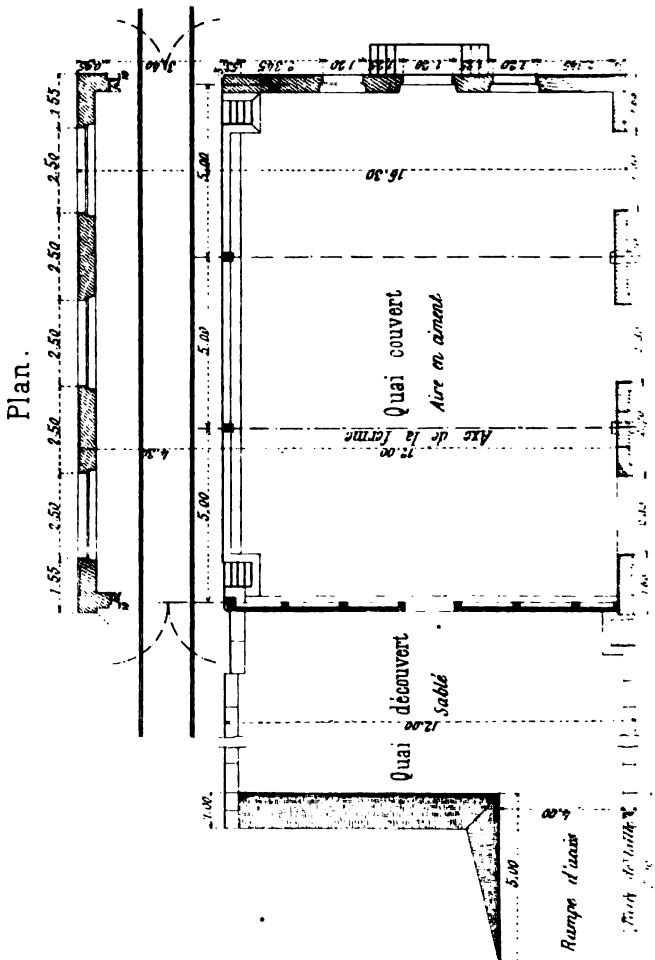


Fig. 247.

PLANCHE T.

de vagon à vagon sont généralement placés entre deux voies appelées aussi *voies de débord*.

Quais couverts. — Halles. — Pour protéger certaines marchandises, comme les grains, céréales, denrées coloniales, qu'on ne saurait laisser exposées aux intempéries, on établit alors des quais couverts appelés généralement *halles à marchandises* (voy. Planche U, *fig.* 248, 249).

Ces quais sont établis à la suite des quais découverts et ont la même largeur, qui est généralement de 10, 12 ou 15 mètres, et une longueur proportionnée au mouvement et à l'importance des gares.

Les parois latérales sont percées d'ouvertures de $2^{m},30$ environ, fermées par des portes roulantes et espacées, en général, de la longueur d'un vagon, afin de permettre de charger ou de décharger plusieurs véhicules à la suite l'un de l'autre et en même temps sur la même voie (*fig.* 249).

La toiture de la halle est prolongée de chaque côté, de manière à former une saillie d'environ 4 mètres pour abriter les vagons et les voitures pendant le transbordement des marchandises, qui peut ainsi se faire à couvert pendant la pluie (Planche U, *fig.* 250).

La voie pénètre le plus ordinairement sous la halle dont chaque extrémité est fermée par une porte à deux vantaux de $4^{m},90$ de hauteur et $3^{m},40$ de largeur, ce qui permet de laisser stationner pendant la nuit des vagons dont le chargement ou le déchargement n'auraient pas été terminés pendant le jour (Planche U, *fig.* 251).

Les fermes de la charpente étant, en général, espacées de 5 mètres, la longueur des halles peut ainsi être augmentée d'une ou plusieurs fermes à volonté et portée de 10 à 15, 20 ou 25 mètres, suivant les besoins du trafic.

Sauf dans les gares de peu d'importance, le service de la petite vitesse est fait par un agent spécial auquel on construit, dans un angle de la halle, un petit bureau formé de cloisons en planches. Parfois ce bureau est accolé à la halle avec laquelle il communique par une porte dans le pignon; le public y accède par un petit escalier de cinq marches, y compris le seuil au niveau de la plateforme du quai (*fig.* 251).

Halle à marchandises.

Élévation latérale côté de la cour.

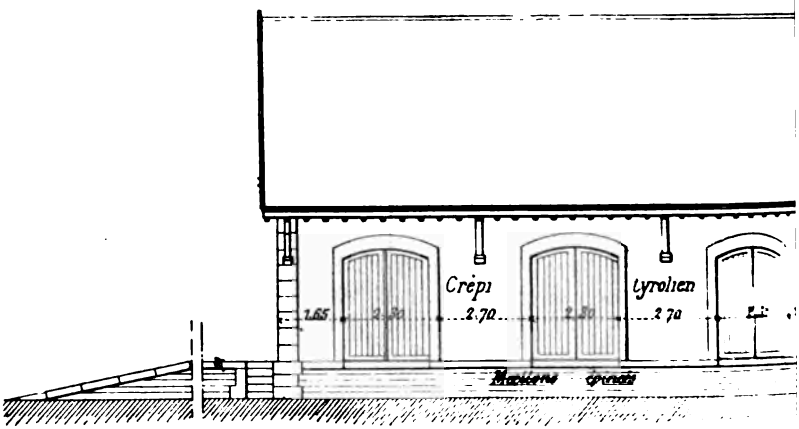


Fig. 248.

Élévation latérale côté de la voie.

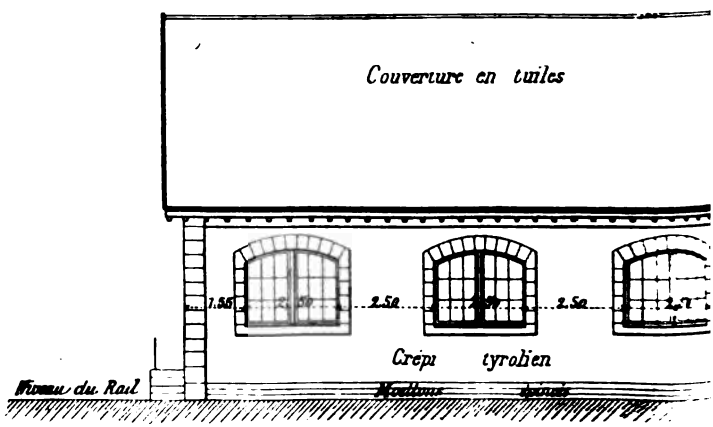


Fig. 249.

PLANCHE U.

Halle à marchandises.

Pignon côté du Quai découvert

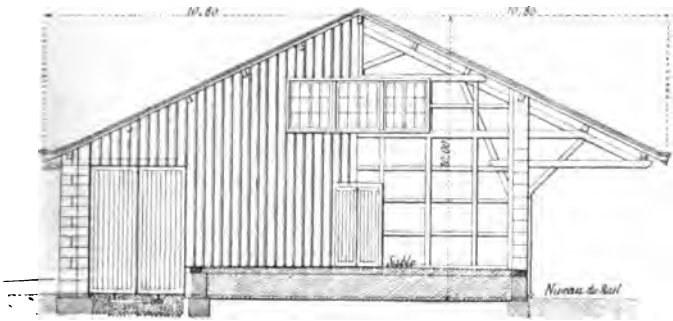


Fig. 250.

Pignon en maçonnerie

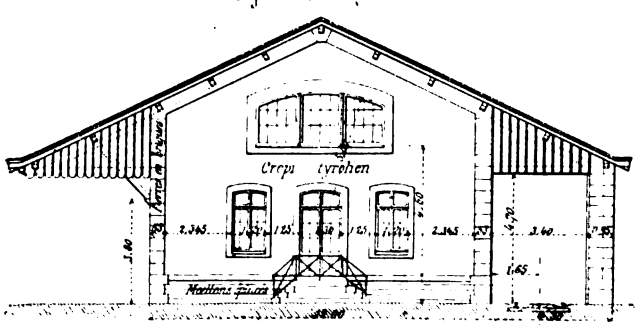


Fig. 251.

PLANCHE U.

Dans les gares importantes où le service de la petite vitesse nécessite l'emploi de plusieurs agents, on construit à cet effet un bâtiment spécial pour les bureaux dont le service est assuré sous la direction et le contrôle du chef de gare.

Pour peu que l'importance du service comporte l'expédition d'un ou deux vagons par jour, l'installation de la petite vitesse est complétée par un pont à bascule et une grue de chargement de 5 à 6 tonnes.

Enfin, une transversale munie de plaques tournantes est généralement placée près de la halle, afin de faire passer les vagons sur les voies de débord après le chargement ou le déchargement.

Les Planches T et U indiquent les dispositions du type de halle à marchandises avec quais de 12 mètres et bureau de petite vitesse, adopté par la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée.

Dispositions générales des gares. — Nous avons vu que le choix de l'emplacement des gares est une affaire d'études et de tracé de la ligne. En ce qui concerne la gare des voyageurs, on doit, en général, placer le bâtiment du côté de la localité la plus importante à desservir ou pouvant donner le

Type de 2e classe.

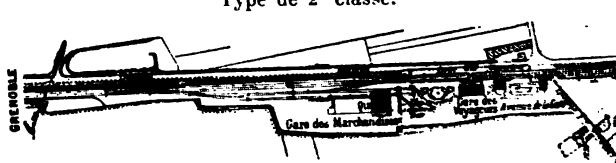


FIG. 252.

plus grand trafic, afin d'éviter, aux voyageurs qui s'y rendent, la traversée des voies, toujours gênante au moment où les trains sont en gare et qui peut, du reste, donner lieu à des accidents pour les piétons.

Selon que la situation des lieux le permet, la gare des marchandises se place du même côté que celle des voyageurs. Dans ce cas, les deux cours sont séparées par une clôture

Type de 3e classe.

FIG. 253.

Type de 4e classe.

FIG. 254.

munie d'une porte qui demeure fermée pendant la nuit; le service en est généralement plus facile pour les agents, et cette disposition se prête plus commodément à la surveillance du chef de gare.

Si, au contraire, la gare des marchandises est placée du côté opposé à celle des voyageurs, chacune d'elles doit avoir une cour et une avenue spéciales. Cette dernière disposition demande généralement plus d'espace et présente l'inconvénient, dans les gares ordinaires, d'obliger les agents à traverser les voies fréquemment pour se rendre des bureaux aux quais et aussi d'imposer ce même parcours au public ayant presque toujours affaire, en même temps, au chef de gare qui est lui-même chargé d'assurer les services de grande et petite vitesses.

Nous n'entrerons pas dans les détails de l'établissement des voies dans les stations ni dans le fonctionnement du service, qui rentrent plus spécialement dans les attributions de l'exploitation; l'importance de ces installations, la longueur et le nombre des voies dépendent nécessairement du trafic à desservir.

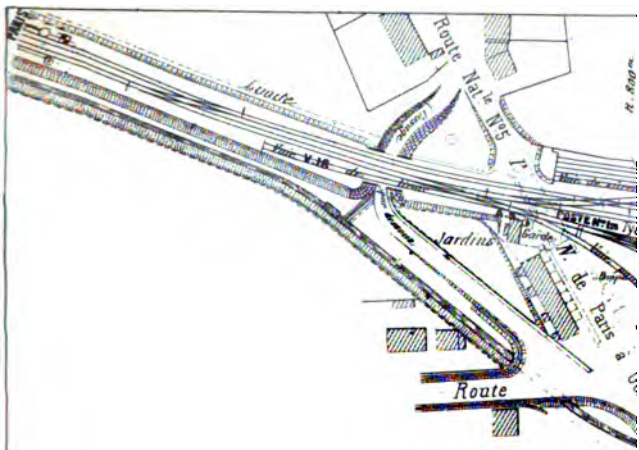
Nous donnons, toutefois, à titre de renseignement, divers plans d'ensemble de gares du réseau Paris-Lyon-Méditerranée, présentant pour des lignes à simple ou à double voie les dispositions que nous avons indiquées plus haut. La Planche XII donne les dispositions d'ensemble d'une gare de 1re classe et de bifurcation sur une ligne à double voie.

La figure 252 ci-dessus représente les dispositions d'une gare de 2e classe sur une ligne à voie unique.

La figure 253 représente les dispositions d'une gare de 3e classe (voie unique).

La figure 254 représente les dispositions d'une gare de 4e classe (voie unique).

Bâtiments de la traction. — Pour compléter ce qui concerne les gares de marchandises, nous dirons quelques mots des installations affectées au service de la traction, qui sont faites d'après les projets dressés par ce service, en vue des besoins de l'exploitation, et dont on n'aura pas à s'occuper pour les lignes restant à construire.



GARE de

1ère Classe *(Double voie)*

Il faut généralement aux machines un abri dans un bâtiment spécial où on puisse procéder à leur nettoyage quotidien, les remiser pendant la nuit et leur faire les quelques menues réparations dont elles peuvent avoir besoin.

Remises ou dépôts de machines. — Ces bâtiments doivent être disposés de façon à permettre aux machines d'entrer facilement à la place qui leur est destinée et sont dénommés généralement *remises* ou *dépôts de machines*.

On fait des remises pour deux, quatre ou six machines disposées de la manière suivante (*fig.* 255) : un hangar rectangulaire d'une longueur suffisante permet de recevoir deux machines sur une seule voie ou sur deux voies parallèles et contiguës;

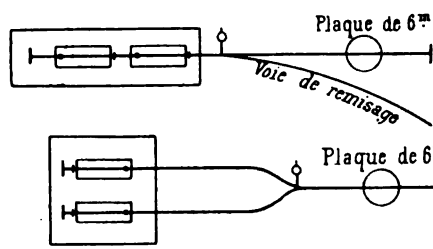


Fig. 255.

une voie de manœuvre, ou une voie de branchement, soudée par aiguille à la voie de remisage, permet, au moyen d'une plaque tournante de 6 mètres, le retournement de la machine. S'il faut quatre ou six machines, on peut conserver la deuxième disposition et donner à la remise une longueur permettant de recevoir deux ou trois machines sur chacune des deux voies; une fosse à piquer le feu est disposée à l'emplacement de chaque machine.

Cette disposition suffit à un service restreint; mais, quand on se trouve en présence d'un service plus considérable, on adopte les types suivants:

La rotonde,

La demi-rotonde,

La remise rectangulaire.

Dans les deux premiers types, la machine est amenée avec son tender sur un pont tournant de 12 mètres, et dirigée ensuite, après retournement, sur une case libre jusqu'au moment où elle sera reprise et dirigée sur l'une des directions A et B (*fig.* 256) ou A' et B' (*fig.* 257).

Dans le premier type, la rotonde étant couverte, toutes les manœuvres de la plaque se font à l'abri, et l'entretien de celle-ci est moins coûteux.

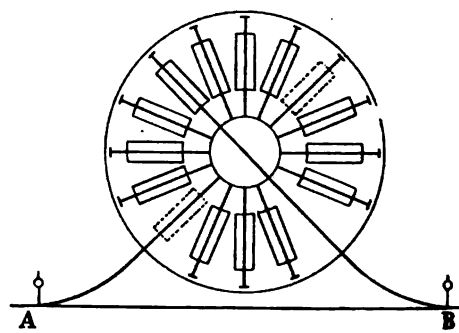


Fig. 256.

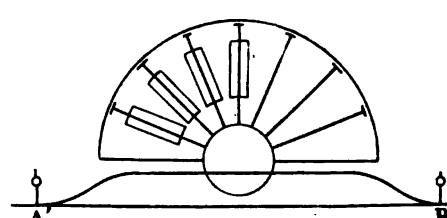


Fig. 257.

Le deuxième type se prête mieux à la réception d'un plus grand nombre de machines, et on n'a pas, comme dans la rotonde, de places perdues par les entrées et sorties; mais il offre, par contre, l'inconvénient d'avoir la plaque en dehors, ce qui ne permet pas d'en faire les manœuvres à l'abri, et aussi de se prêter moins facilement que la rotonde à la surveillance du matériel qui s'y trouve renfermé.

La remise rectangulaire, disposée comme l'indique le croquis ci-après (*fig.* 258), exige une plus grande surface couverte. La machine est amenée par la voie de remisage AB jusqu'en face du chariot à fosse *c*, qui alors la transporte à l'une des cases M ou M'. Ce système est fort coûteux, car il ne dispense pas d'un pont tournant pour le retournement des machines, si elles doivent desservir la même ligne; mais il offre néan-

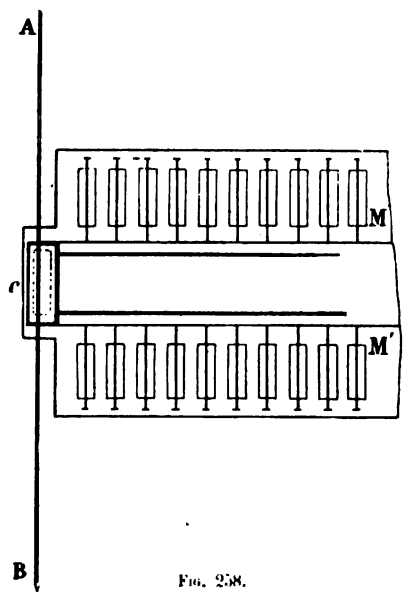


FIG. 258.

moins des avantages très appréciés dans les gares où il se fait une grande concentration et, par suite, un grand mouvement de matériel.

Prix de revient des bâtiments. — Nous donnons ci-après, à titre de renseignements, le prix de revient de quelques gares de moyenne importance (2e, 3e et 4e classes), exécutées récemment sur le réseau Paris-Lyon-Méditerranée, avec le détail des éléments dont elles se composent :

CLASSE	DÉSIGNATION DES OUVRAGES. — DIMENSIONS	PRIX MOYEN par article	PRIX total
		Francs	Francs
2e	Bâtiment des voyageurs 21m,00/8m,00..... $\left(\frac{126.120}{3}\right)$ =	42.040	
	Trottoirs: 2 gares avec trottoirs de 120m,00 = 11.448f,00 / — 1 — 100m,00 = 4.347f,00 $\frac{15.795}{3}$ =	5.265	
	Abri : 1 de 12m,00/3m,50..... = 3.700f,00 / — 2 de 9m,60/3m,50..... = 7.670f,00 $\frac{11.370}{3}$ =	3.790	
	Cabinets : 2 à 6 sièges 4m,00/3m,00.... = 8.430f,00 / — 1 à 4 sièges 3m,00/3m,00.... = 2.030f,00 $\frac{10.460}{3}$ =	3.487	
	Halle à marchandises : 1 de 25m,0/12m,00 avec bureau P. V. 24.426f,00 / Quai découvert 20m,00/12m,00... 1.948f,00 / Quai à bestiaux 30m,00/12m,00.. 4.408f,00 / 2 avec quais de 20m,00/15m,00..... 72.430f,00 30.782f,00 $\frac{103.212}{3}$ =	34.404	
	Moyenne de 3 gares.....	88.186	88.186
3e	Bâtiment des voyageurs 12m,00/8m,00 (10)..... $\frac{216.213}{10}$ =	21.621	
	Trottoirs : 4 gares avec trottoirs de 120m,00 = 10.894f,00 / — 6 — 100m,00 = 34.184f,00 $\frac{45.078}{10}$ =	4.508	
	Abri de 9m,60/3m,50..... Moyenne de 10 gares.	3.463	
	Cabinets à 4 sièges 3m,00/3m,00..... —	2.322	
	Halle à marchandises : 2 de 25/12 avec quai découv. de 15/12 = 43.470f,00 / 2 de 15/12 — 15/12 = 36.918f,00 / 1 de 10/10 — 15/10 = 10.580f,00 / 4 de 10/10 — 10/10 = 53.602f,00 / 1 avec quai découvert de 10/10 et abri en charpente de 5/4..... = 2.320f,00 $\frac{146.890}{10}$ =	14.689	
	Moyenne de 10 gares.....	46.503	46.503
4e (station)	Bâtiment des voyageurs 9m,00/8m,00 (station avec abri).....	18.685	
	2 trottoirs de 120m,00.....	5.724	
	Abri de 9m,60/3m,50.....	3.800	
	Cabinets à 4 sièges de 3m,00/3m,00.....	2.330	
	Moyenne.....	30.539	30.539
	Bâtiment des voyageurs 9m,00/8m,00 (station sans abri).....	15.275	
	Trottoirs : 1 gare avec 2 trottoirs de 120 = 5.724f,00 / — 2 gares avec 1 trottoir de 100m = 4.790f,00 $\frac{10.514}{3}$ =	3.505	
	Cabinets : 1 à 4 sièges 3m,00/3m,00..... = 2.610f,00 / — 2 à 2 sièges 3m,00/1m,68..... = 2.574f,00 $\frac{5.184}{3}$ =	1.728	
	Moyenne de 3 stations.....	20.508	20.508

Dépense kilométrique de superstructure. — Il est assez difficile de donner, d'une manière exacte et surtout utile, la dépense kilométrique de la superstructure d'une ligne de chemin de fer. Dans la situation actuelle d'achèvement des lignes secondaires, aucune d'elles ne se présente dans des conditions quelque peu comparables. Les gares principales ou de tête de ligne étant établies, il reste à y exécuter des travaux d'agrandissement nécessités par la réception des lignes qui viennent s'y raccorder ; une partie de ces travaux doivent être imputés au compte de construction de la ligne nouvelle ; le surplus constitue les travaux d'amélioration proprement dite, ou d'appropriation de la gare existante, qui doivent être supportés par le compte complémentaire d'établissement de la ligne principale : soit portion par la construction, c'est-à-dire l'État, et portion par l'exploitation, c'est-à-dire la Compagnie. Il est donc difficile de faire entrer les dépenses de ces travaux très variables dans la moyenne d'un prix de revient kilométrique.

D'autre part, la voie étant un élément peu variable d'une ligne à l'autre, ou même d'un réseau à l'autre, le prix de revient d'une ligne dépend donc, dans ces conditions, plus particulièrement du nombre et de l'importance des gares, ainsi que des travaux d'agrandissement des gares de jonction, autant d'éléments qui varient avec le trafic de la contrée que la ligne est appelée à desservir et qui ne peuvent, par conséquent, servir de terme d'une comparaison absolument exacte dans l'évaluation de la dépense kilométrique de superstructure.

Prix de quelques lignes à voie unique. — Néanmoins, nous terminerons par l'indication du prix de revient de quelques lignes à voie unique, en faisant remarquer que l'écart qui existe entre les prix des bâtiments, ou de la voie dans les divers cas, provient non seulement, comme nous l'avons dit, du nombre et de l'importance des gares, mais aussi de la ventilation qui a été faite des dépenses de certains articles, comme télégraphe, cloches et autres appareils mobiliers, portés tantôt à l'article *voie* et tantôt à l'article *bâtiments*.

Ces prix pourront néanmoins servir de bases pour l'esti-

mation d'avant-projet de lignes situées dans des régions similaires ou plus ou moins voisines des lignes déjà existantes.

DÉSIGNATION DES LIGNES	LONGUEUR kilométrique	VOIE et appareils	BATIMENTS des stations et dépendances	ENSEMBLE	OBSERVATIONS
ORLÉANS [1]					
		Francs	Francs	Francs	
Brétigny à Tours	202	58.361	25.340	83.701	1 Non compris les dépenses d'agrandissements des gares communes.
Tulle à Brive	26	50.807	49.616	100.423	
Montauban à Rodez	201	69.453	25.087	94.540	
Limoges à Agen	230	61.331	27.839	89.220	
Toulouse à Lexos et Albi	105	56.000	28.155	84.155	
Perigueux au Lot	168	60.571	20.614	81.185	
Nantes à La Roche-sur-Yon	75	55.600	21.759	77.359	
Orléans à Gien	61	51.853	19.298	71.151	
Arvant au Lot	171	51.421	19.393	70.814	
Montluçon à Limoges	147	52.516	18.267	70.783	
Angers à Niort	166	50.645	20.123	70.768	
Orléans à Malesherbes	58	51.603	16.225	67.828	
Commentry à Gannat	54	51.445	15.759	67.204	
Poitiers à Limoges	111	43.649	13.185	56.833	
Bourges à Montluçon	100	41.980	11.721	53.701	
Tours à Vierzon	104	39.654	13.088	52.742	
EST [2]					
Blesme à Gray	180	94.388	28.251	122.6393	2 Compris agrandissement des gares communes.
Vendenheim à Vissembourg	58	54.386	38.780	93.166	3 Compris 2e voie sur 768,400.
Troyes à Bar-sur-Seine	29	52.828	28.067	80.895	
Nancy à Gray	176	57.028	20.227	77.255	
Metz à Thionville et la frontière	46	57.572	17.163	74.735	
Belfort à Guebwillier	20	50.237	19.469	69.706	
Dieuze à Avricourt	92	52.291	13.897	66.188	
Niederbroun à Thionville	95	51.449	10.546	61.995	
Châtillon-sur-Seine à Chaumont	43	48.044	10.060	58.104	
Chaumont à Pagny	95	44.752	11.704	56.456	
Mezières à Hirson	55	40.463	14.231	54.694	
Lunéville à Saint-Dié	50	35.978	11.293	47.271	
Châtillon à Bar-sur-Seine	32	34.778	8.500	43.278	
MIDI					
Tournemire au Vigan	61,8	42.905	10.645	53.550	86.550, y compris agrandissement des gares communes.
		10.415	2.585	13.000	
PARIS-LYON-MÉDITERRANÉE					
Chagny au Creusot	54	62.835	24.354	87.189	
Lons-le-Saunier à Mouchard	49	51.927	31.030	82.957	
Nuits-sous-Ravières à Châtillon	36	53.832	23.625	77.457	
Bourg à Lons-le-Saunier	63	51.814	15.329	67.143	
Mouchard aux Verrières	73	46.858	17.492	64.350	
Arc-Senans à Franois	27	39.931	14.180	54.111	
Auxerre à Gien	91,5	53.724	11.427	65.151	Dép. au 31 décemb. 189[illegible]
La Cluse à Saint-Claude	43,5	56.844	20.416	77.2602	—
Roanne à Chalon	106	50.723	25.907	75.9300	—
Saint-Gengoux à Montchanin	27	45.740	14.741	60.481	—
Champagnole à Saint-Laurent	22,6	51.531	28.345	79.8764	—
Dôle à Poligny	38,4	52.396	19.953	72.349	—
Moutiers à Albertville	27.6	41.702	20.290	61.992	—
Moyenne générale des lignes ci-dessus		51.960	19.937	71.897	4 Compris les parachèvements.

NOTA. — La convention du 20 novembre 1883 avec la Compagnie du Midi portait que les travaux de superstructure ne devaient pas dépasser 90.000 francs par kilomètre.

CHAPITRE III

ENTRETIEN ET SURVEILLANCE

Service d'entretien. — L'article 30 du cahier des charges imposé aux Compagnies reproduit à peu près textuellement l'article 2 de l'ordonnance du 15 novembre 1846 portant règlement d'administration publique sur la police et l'exploitation des chemins de fer ; il est ainsi conçu :

« Le chemin de fer et toutes ses dépendances seront constamment entretenus en bon état, de manière que la circulation y soit toujours facile et sûre.

« Les frais d'entretien et ceux auxquels donneront lieu les réparations ordinaires et extraordinaires seront entièrement à la charge de la Compagnie. »

L'article 31 du même cahier des charges porte en outre :

« La Compagnie sera tenue d'établir à ses frais, partout où besoin sera, des gardiens en nombre suffisant pour assurer la sécurité du passage des trains sur la voie et celle de la circulation ordinaire sur les points où le chemin de fer sera traversé à niveau par des routes ou chemins. »

En effet, il importe au plus haut point que le service d'entretien soit assuré d'une façon attentive et soignée, de manière à éviter les accidents qui résulteraient infailliblement de l'usure ou du mauvais état de la voie.

Une circulaire ministérielle du 31 décembre 1853, relative au bornage de l'assiette du chemin de fer, définit ainsi les dépendances de la voie : « Les terrains qui, ayant été acquis pour l'établissement du chemin de fer, et étant ou pouvant être utiles à son exploitation, doivent être conservés par la

Compagnie pour être remis à l'État lors de l'expiration de la concession. Ainsi les gares, stations, emplacements de dépôt de matériel, ateliers de réparation et de construction, cours intérieures et extérieures, chemins d'accès aux stations, maisons de gardes et leurs jardins, etc., seront bornés comme l'assiette des voies elles-mêmes. »

Les ponts construits pour le maintien des communications, tels que passages inférieurs ou supérieurs, sont considérés comme des dépendances du chemin de fer, à l'exception des chaussées, caniveaux et trottoirs dont l'entretien est fait par les soins des services chargés des voies de communication qui traversent le chemin de fer.

Ainsi, pour un passage supérieur en maçonnerie, la Compagnie reste chargée de l'entretien de la voûte et des parapets ou garde-corps.

Pour un tablier métallique avec voûtes en briques soutenant la chaussée, ou un pont avec tablier en charpente, la Compagnie doit l'entretien des voûtes et du platelage ; en cas de réfection de ces parties de l'ouvrage et à moins de stipulations contraires insérées au procès-verbal de remise au service intéressé, la Compagnie peut être tenue d'effectuer la réfection de la chaussée, car il est difficile, dans ce cas, d'isoler absolument les réparations à faire à cette partie de l'ouvrage de celles nécessaires à l'entretien et au renouvellement du platelage (Décision du 30 mars 1896, pont du chemin d'Issoire à La Chaise-Dieu (Puy-de-Dôme), réseau Paris-Lyon-Méditerranée).

Distinction entre les travaux à exécuter. — Les travaux à faire par les Compagnies sur une ligne de chemin de fer sont de deux catégories:

Les *travaux d'entretien et de réparations ordinaires* et les *travaux de grosses réparations ou de reconstruction.*

Les premiers « s'exécutent au fur et à mesure que les besoins s'en manifestent et sans qu'il y ait à produire de projet ni à remplir aucune formalité; sauf toutefois le cas où l'exécution pourrait amener des dispositions nouvelles dans la marche des trains et le service général de l'exploitation, auquel cas l'Administration centrale et le contrôle doivent

être prévenus assez à temps pour que les mesures prises par la Compagnie puissent être examinées, modifiées, ou complétées s'il y a lieu.

« Quant aux travaux de grosses réparations ou de reconstruction constituant des ouvrages nouveaux ou comportant des changements à l'état de choses existant, il est indispensable que la Compagnie produise dans la forme ordinaire les projets de ces travaux, pour qu'il y soit statué par l'Administration après examen par le service du contrôle.

« La Compagnie ne peut, jusqu'à la notification de la décision à intervenir, commencer l'exécution de ces travaux » (Circulaire ministérielle du 18 janvier 1854).

Toutefois, la Circulaire ministérielle du 22 mars 1861 porte que : « Lorsqu'une Compagnie jugera qu'il y a urgence à entreprendre un travail ayant le caractère de premier établissement, sans attendre ou même sans pouvoir solliciter l'autorisation ministérielle, elle devra en donner immédiatement avis à l'inspecteur général directeur du contrôle.

« La dépense ainsi faite sans autorisation préalable sera imputée provisoirement à un compte d'attente spécial. »

Nous ne nous occuperons ici que des travaux d'entretien et de réparations ordinaires.

Organisation du service d'entretien. — Le personnel actif chargé de ce travail est assez considérable ; la répartition en est faite d'après l'organisation de chaque réseau qui est, à cet égard, fort peu différente de l'un à l'autre.

Ce service est généralement dirigé par un ingénieur qui prend le titre d'ingénieur en chef du service central de la Voie et des Bâtiments.

Il est partagé ensuite en *arrondissements* ou en *divisions*, d'une longueur de 550 à 700 kilomètres, à la tête desquels est placé un agent supérieur portant le titre d'*ingénieur de l'arrondissement* ou d'*ingénieur-chef de la division*.

L'arrondissement est partagé en un certain nombre de sections, d'une longueur de 80 à 150 kilomètres, dirigées chacune par un chef de section.

Enfin, celle-ci est elle-même répartie en plusieurs *subdivisions*, ou *districts*, d'une longueur de 20 à 30 kilomètres à la

tête desquels se trouve un conducteur ou un piqueur chef de district.

Le chef de section est chargé, sous les ordres de chaque ingénieur d'arrondissement, de la direction des travaux de réparation, d'entretien et de conservation des voies dans l'étendue de sa section, ainsi que des travaux neufs, de voies nouvelles, pose ou réfections à y exécuter; il a sous ses ordres pour la surveillance de ces travaux les conducteurs ou chefs de districts avec le personnel inférieur mis à sa disposition.

Les dépenses faites par le service de la voie sont constatées dans chaque arrondissement ou division par les chefs de section ou par les agents sous leurs ordres; les pièces de dépenses en sont produites par les chefs de section à l'ingénieur qui les transmet à l'ingénieur en chef, et celui-ci au service central de la comptabilité, au moyen de mandats de paiement et de bordereaux de mandats.

Il est tenu, en outre, dans chaque section, une comptabilité des approvisionnements de la voie s'appliquant à tous les matériaux et accessoires de la voie, en approvisionnement soit dans les stations ou chantiers, soit sur la ligne ou dans les maisons de garde.

Le point de départ de cette comptabilité, réglée mois par mois, est l'inventaire dressé dans chaque section, constatant les quantités de matériaux, approvisionnés ou existants dans le service, et pour lesquels il est tenu à cet effet par le chef de section un journal des entrées et des sorties de chaque espèce de matériaux.

Après que les pièces de dépenses ont été vérifiées et enregistrées par la comptabilité centrale, les fonds destinés au paiement sont remis aux chefs de section par les payeurs centraux, à qui les pièces sont ensuite rendues après émargement par les ayants droit.

Les conducteurs, ou chefs de districts, sont astreints à visiter à pied la totalité des voies dont ils ont la surveillance, aussi souvent qu'ils en reçoivent l'ordre, et, en tous cas, au moins une fois par mois; ils rendent compte de leurs tournées dans un rapport qu'ils adressent à leur chef de section, d'après les instructions données par l'ingénieur.

Ils doivent visiter fréquemment les gares, les locaux réservés au public, bureaux ou corps de garde, et s'assurer qu'aucune partie des gares ne reste négligée.

Ils ont sous leurs ordres, pour assurer la surveillance et l'entretien des lignes comprises dans leur district ou subdivision, des *cantonniers* ou *garde-ligne*, des *brigadiers* ou *chefs poseurs*, des *poseurs* et autres ouvriers d'état spéciaux.

Les cantonniers ou garde-ligne sont généralement chargés de la surveillance d'un *canton*, d'une étendue moyenne de 2 à 3 kilomètres. Sur certains réseaux, ces agents sont en même temps chargés, comme *poseurs*, du travail de réparation de la voie, de l'entretien des terrassements et ouvrages d'art.

Les poseurs sont ordinairement réunis en brigades, de 5 à 6 hommes, commandées par un brigadier et parfois aussi par un chef poseur. Chaque brigade est alors chargée d'un canton comme ci-dessus.

Chaque canton doit être visité dans toute son étendue, au moins une fois par jour, ordinairement le matin, par le brigadier ou par un de ses poseurs. En sus de ces tournées, il doit être procédé, au moins une fois par semaine, à une visite générale du canton par le brigadier poseur.

Indépendamment des tournées régulières indiquées ci-dessus, le personnel de chaque brigade peut recevoir l'ordre de faire des rondes spéciales chaque fois que des pluies abondantes, tempêtes, dégels ou chutes de neiges peuvent faire craindre des accidents ou éboulements pouvant intercepter les voies. Il peut même être institué en permanence, sur certains points dangereux, des gardes spéciaux dits garde-ligne de jour ou de nuit, suivant les circonstances.

Le plus souvent, le brigadier poseur, ou un poseur, est logé dans la maison de garde d'un passage à niveau. C'est alors sa femme qui est chargée pendant le jour de la manœuvre des barrières, quand la circulation des trains et des voitures à ce passage n'exige pas que ce service soit confié spécialement à un homme.

Le brigadier poseur reçoit du conducteur, ou chef de district, une feuille préparée pour constater la présence des poseurs et autres ouvriers auxiliaires occupés dans sa brigade. Cette feuille est contrôlée par le conducteur et arrêtée par

celui-ci à la fin du mois pour être adressée au chef de section.

Dans chaque réseau le service des brigadiers poseurs, des poseurs, garde-ligne et garde-barrières, fait du reste l'objet de règlements spéciaux.

TRAVAUX D'ENTRETIEN PROPREMENT DIT

Nous empruntons les prescriptions suivantes au *Règlement général des poseurs* (Paris-Lyon-Méditerranée), approuvé par décision ministérielle du 1er juin 1869, et au *Manuel des poseurs* de M. Salin, inspecteur de la voie à la Compagnie d'Orléans.

Les travaux ordinaires d'entretien dont une brigade peut être chargée comprennent :

Le dressement, le bourrage et le relèvement des voies ;

Le règlement du ballast, le nettoyage de la voie, l'enlèvement des herbes, quand ce travail n'est pas fait par les gardes ;

Le remplacement des rails, coussinets, traverses, éclisses, cœurs de croisement, aiguilles, etc., et, en général, de toutes les pièces entrant dans la composition des voies courantes et des appareils de changement de voie ;

Le nettoyage et le graissage des plaques tournantes et le remplacement des pièces hors de service ;

L'entretien des disques et sémaphores et le règlement des transmissions de signaux ;

Le chargement en vagon ou en vagonet et le transport sur la ligne des matériaux destinés aux travaux de la brigade ;

L'enlèvement des neiges.

La brigade est aussi chargée, quand il y a lieu, soit isolément, soit réunie aux brigades voisines, de la pose de voies nouvelles et des remaniements de voies à faire dans les gares ou sur la ligne.

Accessoirement, et quand le parfait état de la voie leur en laisse le temps, ou encore en cas d'urgence, les poseurs travaillent au curage des fossés, au règlement des accotements

et des talus, à la réparation des éboulements, au bina... haies vives, à la réparation des clôtures sèches et, en ... ral, à l'entretien des terrassements et des ouvrages d'art de ligne. Ils peuvent être aussi appelés à prêter leur con... aux agents de l'exploitation pour le service des gares.

Les travaux d'entretien ne pouvant gêner ou interrom... la circulation des trains sur les voies principales sont exé... tés sous l'autorité des ingénieurs et la surveillance des ... de section, conducteurs et chefs de districts : ils sont gé... ralement confiés à des entrepreneurs ou tâcherons auxqu... on remet les instructions nécessaires en ce qui concer... les précautions à prendre au passage des trains.

Dans l'exécution des travaux d'entretien ordinaires, n'... geant pas que le chantier soit couvert par les signaux de pro... tection réglementaires, les poseurs ne doivent jamais dépo... sur les voies, ou à proximité, des outils et des matériaux pou... vant obstruer les voies ou être atteints par les marchepieds des voitures, ou les bielles et les cendriers des locomotives.

Les matériaux destinés à être chargés sur les voies prin... pales doivent être déposés à 1m,50 au moins en dehors des rails et jamais dans l'entre-voie, et leur talus du côté de la voie doit présenter une inclinaison telle qu'ils ne puissent rouler sur les rails.

Toutefois, le ballast peut être déposé sur l'entre-voie et sur les accotements à une distance moindre, mais toujours de manière à ne pas être atteint par les marchepieds des voitures.

Les tas de ballast retroussés dans le milieu de la voie ne doivent pas dépasser de plus de 5 centimètres le niveau des rails.

Les matériaux déchargés sur le chemin de fer doivent être immédiatement arrimés ou étalés pour qu'ils ne puissent ni rouler sur les rails, ni être atteints par les véhicules.

Les poseurs ne doivent jamais rien déposer sur les fils du télégraphe, ni sur ceux des signaux ou sur leurs supports.

Tassements du ballast. — Les brigadiers poseurs doivent veiller avec soin à ce que le ballast conserve le profil qui lui a été donné lors de la pose. Les moindres tassements qui se manifestent parfois après les pluies, surtout aux abords des

ouvrages d'art, s'aperçoivent à l'œil et doivent être réparés aussitôt par un bourrage des traverses ou un léger relevage de la voie.

On doit avoir à cet effet, sur certains points de la plateforme quelques tas de ballast en approvisionnement, pour y prendre ce qui manque ou peut manquer par suite de ces tassements.

Renouvellement du ballast. — Il arrive parfois que le ballast est argileux ou que la partie supérieure est mélangée de terre favorisant le développement des herbes, ce qui, à la longue, finit par rendre ce ballast moins perméable et occasionne, surtout après les pluies qui en détrempent la surface, ce que les poseurs appellent des traverses *danseuses*. Ces traverses ballotent au passage des roues; l'argile qui les entoure forme une sorte de mastic comprimé par la charge et qui ne les retient plus, étant détrempé, de sorte que la voie se relève après le passage des trains et les traverses restent dans le vide.

Ce qu'il y a de mieux à faire, c'est de procéder à un renouvellement partiel ou total du ballast, suivant les circonstances. On enlève la couche supérieure pour la passer au crible, s'il y a lieu, ou la remplacer par du ballast nouveau sans toucher à la couche inférieure, si celle-ci est encore assez perméable pour assurer l'assainissement de la couche supérieure.

Quand ces réparations ne doivent avoir lieu que sur des points isolés ou ne porter que sur de faibles longueurs, sans présenter d'inconvénient pour la circulation des trains, les brigadiers poseurs peuvent les exécuter, après avoir toutefois pris à ce sujet les ordres et instructions de leurs chefs.

Relevage des voies. — Lorsqu'il s'agit de procéder à un relevage de la voie, les brigadiers doivent avoir soin de ne relever que de 7 à 8 centimètres à la fois et de répartir cette dénivellation sur au moins quatre rails.

Ces relevages doivent se faire, autant que possible, par un temps humide, le bourrage des traverses se faisant alors plus solidement que pendant la sécheresse.

Pour la même raison, les travaux de cette nature doivent

se faire de préférence en automne pour avoir ainsi les voies en bon état pendant l'hiver.

Les poseurs doivent éviter de laisser les voies dégarnies pendant les temps pluvieux. Ils ne doivent jamais, dans les travaux habituels d'entretien, quitter le chantier, avant la fin de la journée, sans avoir achevé le bourrage des traverses et le regarnissage de la voie, de façon à éviter de faire passer les trains sur des parties de voie mal assujetties, et, s'il le faut, sans avoir pris les mesures de sécurité nécessaires pour que le signal de ralentissement soit fait aux trains se dirigeant vers la voie en réparation, ou des deux côtés, si c'est une voie unique.

Les signaux d'arrêt ou de ralentissement sont faits :

Pendant le jour au moyen d'un drapeau rouge fixé à un jalon ferré qu'un poseur tient à la main et qu'il plante sur la voie à une certaine distance du chantier après le passage des trains ;

Pendant la nuit, au moyen d'une lanterne à feu rouge fixée à un poteau planté sur l'accotement;

Enfin, en temps de brouillard, le jour et la nuit, on peut faire usage de pétards aux distances fixées par les instructions spéciales données dans chaque cas par le service de l'exploitation.

Les mêmes précautions sont prises, quand il y a lieu de remplacer un rail, une traverse, ou de faire tout autre travail de nature à rompre pour un temps, si court qu'il soit, la continuité de la voie.

Quand les réparations ont lieu dans un souterrain, les signaux d'arrêt ou de ralentissement se font en dehors et de chaque côté aux distances fixées par les instructions.

Le signal de libre passage est fait au moyen d'un drapeau blanc planté sur l'accotement ou d'une lanterne à feu blanc fixée à un poteau, au point où le train peut, sans inconvénient, reprendre sa marche normale.

Ces dispositions sont, du reste, prises dans chaque cas conformément aux prescriptions des ordres de service de l'exploitation.

Les brigades ne doivent jamais laisser d'outils sur les voies, après l'achèvement du travail de la journée ; elles doivent les

emporter dans les maisons de garde, maisonnettes-abris ou les enfermer dans des coffres à clef spéciaux disposés à cet effet le long de la ligne.

Les mêmes précautions doivent être prises pour les coussinets, chevillettes, crampons, coins, éclisses, selles, boulons, tirefonds et autres petits matériaux portatifs, qui ne doivent, en général, être retirés de leur caisse ou du lieu de dépôt, qu'au fur et à mesure de leur emploi.

Remplacement ou resabotage des traverses. — Les traverses se détériorent surtout par suite des variations atmosphériques et des passages brusques de l'humidité à l'ardeur du soleil ; il importe non moins à leur conservation qu'au maintien de la stabilité de la voie qu'elles soient toujours recouvertes de ballast, surtout pendant l'été.

Lorsqu'une traverse est fendue ou déformée à l'emplacement des coussinets ou des selles, il faut examiner si son état de conservation lui permet encore un service satisfaisant au moyen d'un nouvel entaillage à côté du premier, sur la partie saine du bois. On la retire alors après l'avoir dégagée du ballast, on nettoie la surface du bois et on refait l'entaillage à l'herminette, en ayant soin de boucher les anciens trous des chevillettes ou tirefonds au moyen de chevilles en bois enfoncées au marteau et en laissant à cette traverse une saillie de 30 à 40 centimètres en dehors des rails.

Il faut avoir soin de faire ce nouvel entaillage avec l'inclinaison intérieure de 1/20, dans la voie Vignole, ce qui, à défaut de gabarit, s'obtient très vite à l'œil, soit en se guidant sur l'ancienne entaille, soit en remarquant que cette inclinaison donne une entaille de 5 millimètres environ plus profonde en dedans qu'en dehors de la voie.

Les brigadiers poseurs doivent surveiller attentivement les attaches des rails et de leurs accessoires sur les traverses, principalement sur celles voisines des joints, afin de maintenir toutes ces parties de la voie en bon état, et ne pas hésiter à remplacer, s'il y a lieu, celles qui en ont besoin, ou à resaboter la traverse dès que les trous commencent à s'élargir de façon à permettre le plus léger déversement de l'attache.

Lorsque des coussinets sont cassés, on les remplace en se servant soit des mêmes trous de chevillettes ou tirefonds, soit en en faisant de nouveaux aux endroits non utilisés lors de la pose, soit en refaisant le sabotage comme ci-dessus.

Lorsque les traverses ne sont pas en état de supporter un resabotage ou présentent des parties détériorées pouvant donner lieu à une dépression ou flexion de la voie, on les retire après les avoir dégarnies de ballast et avoir enlevé les tirefonds ou les coussinets, et on les remplace par des traverses neuves, généralement entaillées d'avance, à la position exacte marquée à la craie sur les rails, conformément au plan de pose.

Les meilleures de celles qui sont enlevées peuvent encore être employées à la réfection des voies de garage ou de manœuvre dans les gares; celles qui sont complètement hors d'usage sont vendues comme bois à brûler ou utilisées pour le chauffage des bureaux de la voie.

Sur les lignes à double voie, quand des traverses n'ont pas les mêmes dimensions à chaque extrémité, il est bon de mettre l'extrémité la plus forte du côté extérieur de la voie, car le bout engagé dans l'entre-voie est suffisamment renforcé par le ballast et a généralement une moindre résistance à offrir, à moins, toutefois, de se trouver dans la partie convexe d'une courbe.

Lorsqu'un rail est fendu ou cassé à l'emplacement des trous des boulons, il doit être remplacé. On enlève avec soin les crampons ou tirefonds de façon à ne pas endommager la traverse; puis, on desserre les écrous des boulons des éclisses, afin d'enlever celles-ci sans fausser aucune pièce.

Lorsque les écrous ont été serrés avec précaution lors de la pose ou lors des visites ultérieures, le desserrage s'en fait presque toujours assez facilement. Mais il arrive parfois que, par suite de la rouille, on éprouve dans ce travail une certaine difficulté qui oblige à casser le boulon à coups de marteau. On évite cet inconvénient en mettant, quelques instants auparavant, un peu d'huile avec un pinceau sur les écrous à desserrer.

Dans toutes ces opérations, il faut avoir soin de vérifier l'écartement de la voie au moyen du gabarit et de la mainte-

nir à la largeur voulue en dressant et ripant, s'il y a lieu, les parties qui en auraient besoin. Ces petites défectuosités de la voie ne doivent pas échapper à l'œil exercé du brigadier poseur, auquel un peu d'attention suffit pour les apercevoir et les faire rectifier.

Vérification des courbes. — Il y a lieu de maintenir également la plus grande régularité dans le tracé des courbes.

Voici un procédé pratique, indiqué par M. Salin dans son *Manuel du poseur*, au moyen duquel, avec les seuls instruments que possède une équipe de poseurs, ceux-ci peuvent vérifier une courbe ou en déterminer le rayon.

Le tableau suivant donne la longueur du demi-arc des courbes dont le rayon est compris entre 100 et 5.000 mètres pour une flèche de $1^m,45$ égale à la largeur de la voie prise entre les bords intérieurs des champignons des rails.

RAYON des courbes	DEMI-ARC		RAYON des courbes	DEMI-ARC	
	pour 1,45 de flèche	pour 1,46 de flèche		pour 1,45 de flèche	pour 1,46 de flèche
mètres			mètres		
100	$17^m,05$	$17^m,11$	800	$48^m,17$	
150	20 ,87	20 ,95	900	51 ,08	
180	22 ,86	22 ,94	1.000	53 ,85	
200	24 ,10	24 ,18	1.200	58 ,99	
250	26 ,94	27 ,01	1.500	65 ,97	
300	29 ,51	29 ,61	1.800	72 ,26	
350	31 ,87	31 ,98	2.000	76 ,20	
400	34 ,07	34 ,19	2.500	85 ,15	
450	36 ,13	36 ,26	3.000	93 ,27	
500	38 ,08	38 ,22	3.500	100 ,73	
600	41 ,72		4.000	107 ,71	
700	45 ,06		5.000	120 ,48	

Ce demi-arc se mesure d'après les rails de la file extérieure de la courbe, qu'on appelle communément le *grand rayon*.

PREMIER EXEMPLE. — *Déterminer le rayon d'une courbe.* — On place un jalon d'aplomb au joint d'un rail sur le petit rayon,

au point D par exemple (*fig.* 259). On envoie ensuite de chaque côté un homme portant un autre jalon, en faisant compter à chacun le même nombre de rails à partir du point C sur le grand rayon jusqu'à ce qu'ils arrivent en A et B sur l'alignement ADB. Supposons que l'on trouve 6 longueurs de rails de 6 mètres plus $2^m,09$, ce qui fait $38^m,09$ pour la longueur CA (ou CB, puisque ces demi-arcs sont égaux). Le

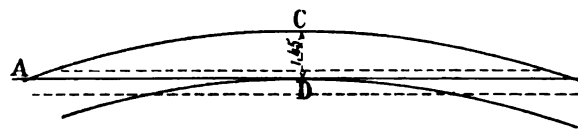


Fig. 259.

tableau montre que le chiffre de la 2e colonne le plus rapproché de $38^m,09$ est $38^m,08$, qui correspond à la courbe de 500 mètres de rayon. Si on avait trouvé $45^m,06$ pour le demi-arc, on se trouverait sur une courbe de 700 mètres de rayon.

Deuxième exemple. — *Vérifier le tracé d'une courbe dont on connaît le rayon.* — Supposons qu'on veuille vérifier une courbe de 400 mètres de rayon. On place, comme précédemment un jalon à l'un des joints de rails du petit rayon en D; puis on fait compter par un ouvrier, à partir du point C, sur la file de rails de grand rayon, une longueur de $34^m,07$ prise au tableau ci-dessus comme longueur du demi-arc de 400 mètres, et on fait planter un jalon en A et B; si les trois points A, D, B sont en ligne droite, c'est que la courbe est régulière.

Si la ligne AB passe à l'intérieur de la voie entre les points C et D, c'est que la courbe est aplatie, c'est-à-dire que le rayon est trop grand. Si, au contraire, elle coupe la file intérieure des rails de petit rayon, c'est que la courbe est trop fermée, c'est-à-dire que le rayon est trop petit.

On continue la vérification sur d'autres points de la courbe, en ayant soin de marquer à chaque opération de quel côté la voie doit être reportée pour que cette courbe soit parfaitement régulière.

Lorsque la courbe est entièrement vérifiée de cette façon, on voit quelles sont les parties qui doivent être ramenées en dehors et celles qui sont exactes ou doivent être ramenées en dedans. Un brigadier poseur, connaissant son métier, a vite reconnu les imperfections d'une courbe et trouvé les moyens d'y remédier par un simple ripage de la voie.

Il ne faut toutefois pas oublier qu'on doit avant tout passer aux points obligés, comme, par exemple, au milieu des ponts et tunnels sur les lignes à voie unique, à la distance fixée des murs, parapets, etc.

Si on avait à vérifier une courbe ne figurant pas au tableau, par exemple une courbe de 850 mètres, on prendrait une moyenne entre le demi-arc de 800 et celui de 900 mètres; ce n'est pas rigoureusement exact, mais l'approximation est suffisante dans l'espèce.

Sur les lignes à courbes inférieures à 4 ou 500 mètres, on donne parfois à la voie un écartement de $1^m,46$, au lieu de $1^m,45$; on trouve, dans ce cas, dans la 3e colonne du tableau qui précède la longueur des demi-arcs des courbes de 100 à 500 mètres de rayon.

Remplacement des rails détériorés. — Pour faciliter l'entretien des voies et le remplacement des rails, il est bon que chaque subdivision ou district ait un dépôt de rails de toutes dimensions, ou au moins de quelques rails courts de $4^m,94$-$5^m,96$ et de 5 et 6 mètres, afin de pouvoir effectuer, en cas d'urgence, avec le personnel d'une brigade, le remplacement d'un rail trouvé hors de service sur la voie.

Ces rails courts sont employés seulement à titre provisoire et doivent être remplacés à bref délai par un rail de longueur normale ; on ne déplace pas les traverses et on se borne, s'il y a lieu, à mettre sous le joint des deux rails courts, si ce joint est en porte-à-faux, un morceau de traverse en attendant la pose du rail long.

Ces dépôts sont constitués, le plus souvent, sinon par un râtelier spécial, au moyen de vieilles traverses disposées en dehors des voies, au niveau de la plateforme et soutenues dans le talus par de forts piquets formés également par de vieilles traverses et sur lesquelles les rails sont déposés

comme sur un plancher (*fig.* 260). Afin qu'on ne puisse enlever ces rails par malveillance, on les fixe aux piquets à l'aide d'un fort fil de fer passé dans les trous des boulons d'éclisses, ou au moyen d'une petite tringle cadenassée sur ces piquets. Suivant les circonstances, ou même le terrain dont on dispose, ces dépôts sont faits dans le voisinage d'un passage à niveau.

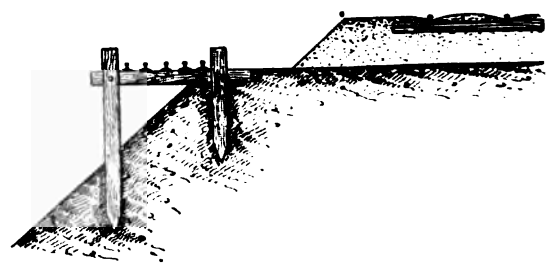


Fig. 260.

en même temps qu'un approvisionnement de petit matériel: selles, tirefonds, coussinets, éclisses et boulons, renfermés dans des caisses spéciales fermant à clef et pouvant les abriter contre la pluie.

Transport par vagonnet. — Il est mis à la disposition des brigades de poseurs et confié au brigadier, qui ne doit s'en servir que pour le transport des matériaux et outils, un vagonnet, ou *lorry*. Ce vagonnet ne doit être mis sur les rails que sur l'ordre et sous la surveillance du brigadier et après avoir pris les mesures nécessaires pour couvrir la voie, conformément aux instructions des ingénieurs de l'exploitation ou de la voie.

Le vagonnet ne doit pas être employé pendant la nuit ni en temps de brouillard, sauf en cas d'urgence absolue et après usage des précautions nécessaires pour le couvrir de chaque côté, conformément aux instructions.

Quand le vagonnet n'est pas en service, il doit être déposé généralement aux abords d'un passage à niveau, en contre-bas des voies, renversé ou, autant que possible, enchaîné, à une

distance convenable de la ligne, de façon à ne pouvoir être replacé sur les voies par un acte de malveillance.

Enlèvement des neiges. — Enfin, en temps de neige, les brigades de poseurs doivent se rendre sur les divers points exposés à recevoir des amoncellements ou des poussées de neige, munis de charrues spéciales, de pelles, raclettes et balais pour déblayer les voies et dégager les rails, et, aussi dans les gares, pour nettoyer les appareils de branchements et les plaques tournantes. Quand, dans ces circonstances, il y a lieu de recourir à des ouvriers auxiliaires, les brigadiers répartissent ceux-ci sous les ordres de chacun de leurs poseurs et les placent sur les points les plus encombrés.

Quand ces moyens sont insuffisants, on a recours au traîneau ou vagon chasse-neige manœuvré par une locomotive, ou à une locomotive chasse-neige spéciale, ou encore à l'emploi de militaires réquisitionnés à cet effet.

D'ailleurs des instructions spéciales, appropriées aux conditions climatériques de chaque contrée, sont données aux chefs de section par les ingénieurs de chaque service dans ces circonstances exceptionnelles.

Outillage des poseurs. — Une brigade ou équipe ordinaire d'entretien, composée de quatre poseurs et d'un chef d'équipe ou brigadier, peut être outillée comme suit [1].

Chaque homme, y compris le chef ou brigadier, possède :

Une batte ;
Une pelle en fer ;
Un chasse-coins (voie à double champignon) ;
Un marteau à cramponner (voie Vignole) ;

Plus, pour l'enlèvement des neiges :

Une pelle en bois ;
Une raclette à verglas ;
Deux balais.

Les outils communs à l'équipe sont :

Cinq pinces à riper ;
Deux pinces à pied-de-biche ;

[1] *Manuel du poseur*, de M. Salin.

Six tarières ;
Deux herminettes ;
Deux clefs à fourche ;
Une griffe en fer ;
Un cordeau de 30 mètres ;
Un levier ;
Un gabarit d'écartement de voie ;
Une règle à dévers ;
Un niveau de poseur ;
Un jeu de nivelettes;
Une brouette ;
Un vagonnet.

Dans les gares, pour l'entretien des changements et croisements de voies et des plaques tournantes, on leur donne en plus :

Une clef anglaise ;
Deux burins;
Un marteau-rivoir ;
Une paire de tenailles.

En outre, l'équipe est munie des objets suivants :

Deux drapeaux rouges sur jalon ferré ;
Deux drapeaux verts sur jalon ferré ;
Deux drapeaux blancs sur jalon ferré ;
Un drapeau roulé rouge et vert ;
Deux lanternes à trois feux;
Deux poteaux porte-lanterne ;
Deux boîtes à pétards;
Une corne d'appel ;
Une burette à huile;
Une scie.

Ces outils doivent être entretenus en bon état.

En dehors de ces outils chaque brigadier, ou chef d'équipe, doit avoir à sa disposition, dans une boîte spéciale, pour les consulter au besoin :

Un carnet sur lequel sont inscrits les ordres ou instructions qui lui sont donnés par le conducteur ou chef de district ou même le chef poseur sur la tenue et le travail de sa brigade ;

Un extrait de la loi du 15 juillet 1845 ;

Un extrait de l'ordonnance du 15 novembre 1846 ;

Un exemplaire du règlement sur les signaux ;

Un exemplaire du règlement pour les garde-ligne, ou autres instructions spéciales à chaque réseau.

PRESCRIPTIONS DE GRANDE VOIRIE

Nous terminerons cet exposé par quelques indications relatives aux prescriptions de grande voirie applicables aux chemins de fer.

Murs de clôture. — Un mur de clôture peut être établi à la limite d'un chemin de fer, *à condition par le propriétaire d'en demander l'autorisation.*

Un mur d'appui avec grille ou treillage peut être établi au lieu d'un mur de clôture plein ; il doit en être fait mention dans la demande, ce genre de construction n'étant autorisé qu'à titre de *tolérance révocable.*

Bâtiments et toutes constructions autres qu'un mur de

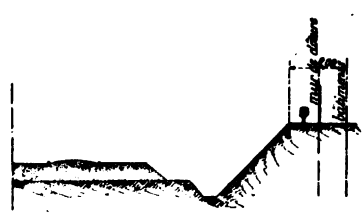


Fig. 261.

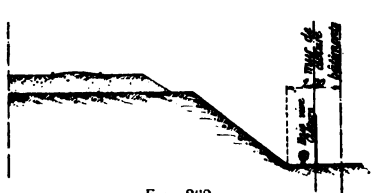


Fig. 262.

clôture. — Aucune construction autre qu'un mur de clôture

ne peut être élevée à moins de 2 mètres d'un chemin de fe cette distance étant mesurée, savoir :

1° Lorsque le chemin de fer est en déblai, à partir de la crête du talus de déblai (*fig.* 261) ;

2° Lorsque le chemin de fer est en remblai, à partir d. pied du talus de remblai (*fig.* 262) ;

3° Lorsque le chemin de fer est à niveau, à partir du bord extérieur du fossé (*fig.* 263) ;

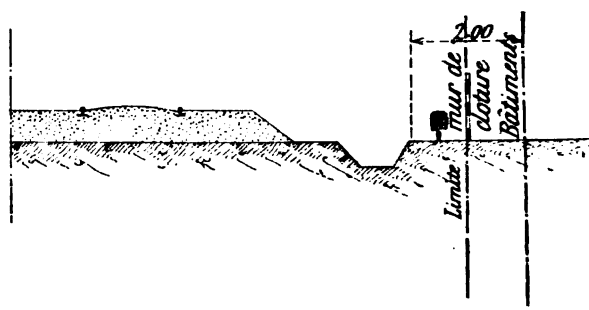


Fig. 263.

4° Lorsqu'il n'y a pas de fossé, à partir d'une ligne menée à 1m,50 du rail extérieur (*fig.* 264) ; dans ce dernier cas,

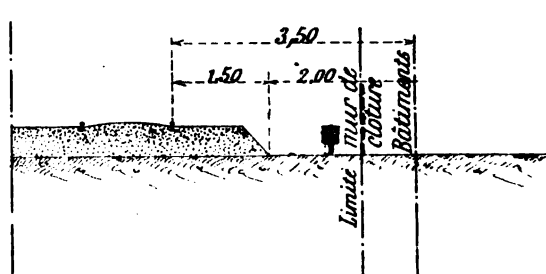


Fig. 264.

aucune construction ne peut être établie à moins de 3m,50 du rail extérieur le plus voisin ;

5° Si le talus de remblai est soutenu ou remplacé par un mur de soutènement, à partir du pied du mur de soutènement (*fig.* 265) ;

6° Si la construction à établir se trouve au droit d'un viaduc, à partir de la partie la plus saillante de l'ouvrage, lorsque la construction doit atteindre une hauteur égale ou supérieure à celle du viaduc; et à partir du parement des maçonneries, si la construction à édifier ne doit pas atteindre la hauteur de la partie la plus saillante de l'ouvrage (*fig.* 266).

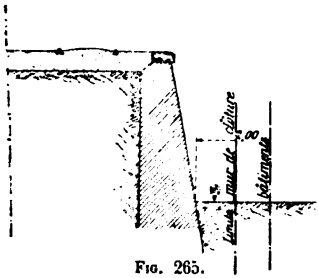


Fig. 265.

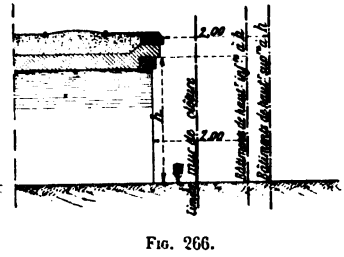


Fig. 266.

Exemption pour les constructions à plus de 2 mètres du chemin de fer (Circulaire du 27 septembre 1855). — Lorsque les constructions riveraines se trouvent en dehors de la zone de servitude, il n'y a pas nécessité de demander l'alignement, et « il n'y a pas lieu de verbaliser contre les propriétaires qui, sans en avoir demandé l'autorisation, bâtissent en dehors de ces limites ».

Construction en bordure des stations, avenues et dépendances du chemin de fer. — Une construction peut être établie en bordure d'une cour de gare, d'un chemin d'accès à une station, ou des dépendances du chemin de fer, dépôts, ateliers, à condition d'en demander l'autorisation.

Toutefois, les avenues des stations sont considérées ou non comme chemins publics classés : *classées*, elles ressortissent aux services compétents, chargés de l'entretien ; *non classées*, l'alignement avec *ouvertures directes et accès* ne peut être donné qu'à titre de tolérance révocable ; toutefois, il y a lieu à délimitation (art. 646 du Code civil).

Écoulement des eaux. — Il est défendu d'écouler les eaux pluviales ou ménagères sur le chemin de fer, soit en dirigeant

la pente des toits du côté de la voie ferrée, soit en y amenant ces eaux avec des tuyaux.

Aqueducs, tuyaux de conduites d'eau et de gaz, câbles télégraphiques et téléphoniques souterrains (art. 3, et Arrêté du 20 septembre 1858, chapitre VII). — Les aqueducs, les tuyaux de conduites d'eau et de gaz, les câbles télégraphiques et téléphoniques souterrains peuvent être placés à la traversée d'un chemin de fer, soit en pleine voie, soit à un passage à niveau, soit sous un viaduc ou sur un pont, à la condition d'en demander l'autorisation.

Plantations (art. 3, et Arrêt du Conseil du Roi du 17 juin 1721, Ordonnance du 4 août 1731, Arrêté du 20 septembre 1858, art. 7). — Une plantation peut être faite à moins de 6 mètres de la clôture d'un chemin de fer, à la condition d'en demander l'autorisation.

Toute plantation d'arbres à haute tige est interdite à moins de 2 mètres de la clôture.

Les plantations de haies vives ou d'arbustes de 2 mètres de hauteur au plus ne peuvent être faites à moins de 0m,50 de la clôture. Voir, pour ces trois cas, la figure 267.

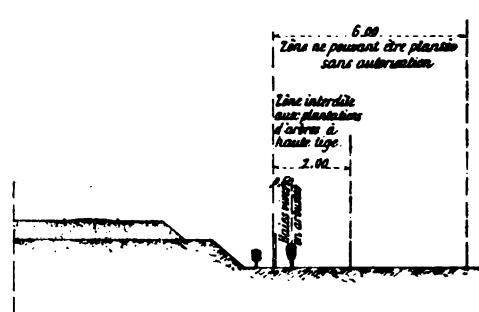


FIG. 267.

Fouilles ou excavations (art. 6). — Lorsqu'un chemin de fer est en remblai de plus de 3 mètres au-dessus du terrain naturel, il est défendu de pratiquer, *sans autorisation*, des

fouilles ou excavations à une distance inférieure à la hauteur du remblai du chemin de fer, cette distance étant mesurée à partir du pied du talus de remblai (*fig.* 268).

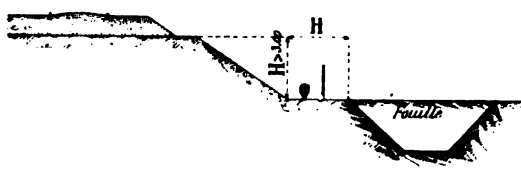


Fig. 268.

Cette autorisation ne peut être accordée sans que les concessionnaires ou fermiers de l'exploitation du chemin de fer aient été entendus ou dûment appelés.

Carrières, sablières, mines, minières, tourbières, etc. (art. 3 et décret spécial au département). — Lorsque les excavations à faire près d'un chemin de fer ont pour objet l'exploitation des carrières, sablières, mines, etc., les prescriptions à observer pour les distances sont celles qui régissent l'exploitation des carrières dans les départements où est situé le chemin de fer.

Dans les départements de la Seine et de Seine-et-Oise, les bords des fouilles ne doivent pas être à moins de 10 mètres du chemin de fer, cette distance étant mesurée comme il a été dit pour les constructions.

L'exploitation de la masse doit d'ailleurs être arrêtée, à partir des bords de la fouille, à une distance horizontale réglée à 1 mètre par mètre d'épaisseur des terres de recouvrement, s'il s'agit d'une masse solide, ou à 1 mètre par chaque mètre de profondeur totale, si cette masse, par sa cohésion, est analogue à ces terres de recouvrement.

Couvertures en chaume, meules de paille ou de foin, dépôts de bois et autres matières inflammables (art. 7). — Il est défendu d'établir, à moins de 20 mètres d'un chemin de fer desservi par des machines à feu, des couvertures en chaume, des meules de paille ou de foin, ni aucun dépôt de bois ou

autres matières inflammables, à moins qu'il ne soit qu'*momentané* (dépôts de récoltes faits seulement pour le temps de la moisson). La distance de 20 mètres se mesure comme pour les constructions (*fig.* 269).

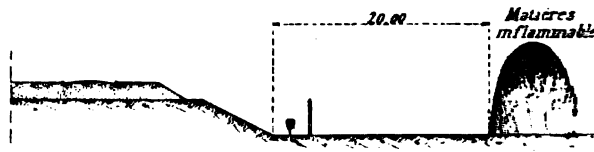


Fig. 269.

Dépôts de matériaux et autres matières non inflammables (art. 8). — Il est défendu de faire *sans autorisation* (cette autorisation est toujours révocable), à moins de 5 mètres d'un chemin de fer, aucun dépôt de matériaux ou autres matières non inflammables. Toutefois, l'autorisation n'est pas nécessaire pour faire des dépôts de matières non inflammables dont la hauteur ne doit pas dépasser celle du remblai du chemin de fer, ni pour former des dépôts temporaires d'engrais ou autres objets nécessaires à la culture des terres.

La distance de 5 mètres se mesure comme pour les constructions (*fig.* 270).

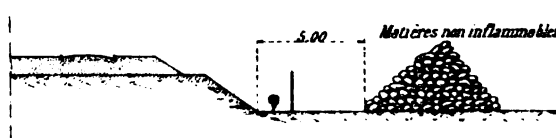


Fig. 270.

Exceptions (art. 9). — Lorsque la sûreté publique, la conservation du chemin de fer et la disposition des lieux le permettront, les distances précédemment déterminées pourront être diminuées, en vertu de décrets rendus après enquêtes.

Observations. — Toutes les demandes doivent être rédigées sur feuille de papier timbré à 0 fr. 60 et adressées au préfet

qui, seul, a qualité pour donner les autorisations relatives aux affaires de voirie.

La demande doit toujours contenir le nom du propriétaire riverain du chemin de fer, alors même que ce n'est pas lui qui fait personnellement la demande.

La situation de la propriété doit être indiquée d'après sa position kilométrique et d'après le cadastre (numéros du plan cadastral, section et lieu dit).

Les alignements doivent, autant que possible, être indiqués au moyen de lignes passant par des points dont la position est déterminée suivant leur distance à l'axe du chemin de fer, mesurée sur des perpendiculaires dont le pied est repéré par rapport au kilométrage de cet axe. Dans aucun cas, les points qui déterminent un alignement ne doivent être repérés à d'autres points pouvant disparaître pendant l'exécution des travaux du pétitionnaire, la vérification de l'alignement et le récolement devenant alors impossibles.

Lorsqu'il s'agit d'un alignement pour un mur de soutènement, une maison, ou toute construction autre qu'un simple mur de clôture, il y a lieu de joindre à l'extrait du plan parcellaire *un ou plusieurs profils en travers très exactement cotés*.

TABLE DES MATIÈRES

Pages.

AVANT-PROPOS..... 1

NOTIONS GÉNÉRALES

Définition de la voie ferrée..... 3
Eléments de la voie..... 3
Premiers essais..... 4
Loi de 1842..... 6
Développement en France..... 7
Situation du réseau français au 31 décembre 1895..... 8
Efforts de traction sur route et sur chemin de fer..... 8
Influence des rampes..... 9
Influence des courbes..... 13
Limite des rampes et des courbes..... 14

PREMIÈRE PARTIE

ÉTUDES

CHAPITRE PREMIER

Études préliminaires. — Avant-projet. — Enquête d'utilité publique

Choix du tracé..... 16
Conditions d'un bon tracé..... 17
Traversée des faîtes..... 19
Souterrains..... 19
Traversée des vallées..... 19
Gares et stations..... 19

AVANT-PROJET

Pages.
Etude sur la carte..... 1
Opérations sur le terrain ; brigade d'études..... 12
Dossier A. — Avant-projet..... 24
Plan général d'étude..... 25
Profil en long..... 30
Sommets de pente..... 32
Calcul du profil en long..... 32
Profils en travers..... 35
Point de passage..... 38

CHAPITRE II

Études définitives

PROJET DE TRACÉ ET DE TERRASSEMENTS, PROJET DÉFINITIF

Tracé des alignements définitifs..... 41
Mesure des angles..... 42
Balisage..... 43
Tracé des courbes..... 43
Chainage..... 45
Piquetage..... 45
Bornes-repères des alignements..... 47
Nivellement en long..... 48
Nivellement en travers..... 50
Rapport du profil en long..... 51
Raccordement des pentes et rampes du profil en long..... 53
Rapport des profils en travers..... 55
Gabarits de profils en travers..... 56
Plan et profils à l'emplacement des stations..... 58
Plan et profils à l'emplacement des ouvrages d'art..... 59
Sondages..... 60
Dossier B. — Projet de tracé et de terrassements..... 61
— E. — Projet d'exécution..... 62

AVANT-MÉTRÉ

Calculs des terrassements (méthode dite exacte). Divers cas. 62
Méthode des sections moyennes..... 68
Tableau du calcul des terrassements..... 69
Classification des déblais..... 70
Mouvement des terres. — Transports..... 70
Tableau du mouvement des terres..... 72

Pages.
Tableau mnémonique..... 75
Transport à la brouette..... 77
Prix de revient d'un mètre cube transporté à la brouette. 78
Fouille ou extraction et chargement des déblais..... 79
Déchargement..... 80
Transports en rampe..... 81
Transport au tombereau..... 81
Prix du transport..... 82
Chargement..... 83
Déchargement..... 84
Transports en rampe..... 87
Transport au vagon..... 88
Tableau comparatif des transports..... 88
Métré des ouvrages d'art..... 91
Résumé de métré..... 93
Base d'estimation des ouvrages..... 94
Prix de revient de divers ouvrages..... 94

APPROBATION DU PROJET DE TRACÉ

Dossier B'. — Désignation des territoires traversés..... 97
Dossier C. — Enquêtes sur le nombre et l'emplacement des stations..... 97
Dossier D. — Enquêtes parcellaires..... 98
Plan parcellaire..... 99
Etat parcellaire..... 99
Indications parcellaires..... 101

DEUXIÈME PARTIE

CONSTRUCTION

INFRASTRUCTURE

CHAPITRE PREMIER

Plateforme

§ 1er. — Terrassements

Exécution pour une ou deux voies..... 103
Terrains..... 103
Largeur des emprises..... 106

Pages

Rigolage..... 107
Estimation et acquisition des terrains..... 108
Commencement des travaux..... 109
Préparation du sol à remblayer.. 109
Exécution des remblais sur des terrains vaseux..... 110
1° Fondation par enfoncement du remblai..... 110
2° Fondation sur pieux..... 112
3° Fondation sur fascines..... 112
Remblais de rocher... 112
Conservation du piquetage..... 113
Installation des chantiers..... 114
Déblais :
Amorce des tranchées..... 114
Porteur Decauville..... 115
Vagonnet à bras d'homme..... 116
— à traction de cheval..... 118
— à traction de locomotive..... 120
Avantages de la voie Decauville..... 122
Organisation de la fouille..... 125
Chantier de chargement..... 126
Extraction par abatage..... 127
Excavateur..... 128
Principales tranchées de chemins de fer..... 129
Déblais de rocher. — Outils..... 130
Limite du débit de la fouille..... 131
Outillage d'un chantier..... 131
Remblais :
Organisation du déchargement. — Décharge simple.. 132
Décharge double et triple..... 134
Décharge au Decauville..... 135
Tassement des remblais. — Surélévation..... 136
Précautions aux abords des ouvrages d'art..... 137
Rétablissement du piquetage de l'axe..... 137
Règlement des talus..... 138
Fossés..... 139

§ 2. — Consolidation de talus

Dégradations provenant de l'extérieur..... 142
Fossés de crête..... 142
Semis 143
Gazonnements. — Couteau à gazons..... 145
Gazonnements à plat. — Prix de revient..... 146
— par assises. — Prix de revient..... 147

Pages.
Plantations des tranchées..... 149
— des remblais..... 150
Perrés. — Murs de pied de talus..... 152
Perré maçonné..... 153
Perré à couronnement incliné..... 154
Perré en arceaux. — En chevrons..... 155
Clayonnages..... 159
Dégradations provenant de l'intérieur des talus..... 162
Méthode de de Sazilly..... 163
Eboulement provenant de l'obstruction de la couche filtrante. 165
Drainage..... 168
Divers systèmes de consolidations. — Système Ledru..... 168
Consolidation des remblais..... 170
Procédés de la Cie Paris-Lyon-Méditerranée : différents cas. 171

CHAPITRE II

Ouvrages d'art

OUVRAGES D'ART ORDINAIRES

Considérations générales..... 179
Fondations..... 180
Epaisseur des voûtes. — Formules diverses..... 181
Voûtes biaises..... 181
Courbe d'extrados..... 182
Epaisseur des culées..... 183

§ 1er. — OUVRAGES POUR ASSURER L'ÉCOULEMENT DES EAUX

Déviation de cours d'eau..... 185
Implantation des ouvrages..... 186
Types d'ouvrages d'art..... 188
Ordre d'exécution..... 188
Débouchés..... 190
Buse en fonte..... 190
Aqueduc romain..... 191
— voûté de 0m,60 d'ouverture..... 193
— de 0m,70 d'ouverture avec tablier en charpente..... 193
— voûté de 0m,70 d'ouverture avec murs en aile..... 193
Ponceau voûté de 1m,50 d'ouverture avec murs en aile et en retour..... 194

Pages.
Pont de 4 mètres d'ouverture 194
Allongement ou exhaussement du type..... 196
Type à culées perdues 197
Détermination du prix de revient des ouvrages..... 198
Résumé de métré d'un aqueduc de 0m,70 d'ouverture 199
Tableau des aqueducs de 0m,70. 199
Métré collectif des aqueducs précédents 200
Prix de revient de quelques ouvrages 200

§ 2. — Ouvrages pour le maintien des communications

Passages inférieurs..... 202
Ponts en maçonnerie 202
Ponts à poutres métalliques. — Poutres jumelles 204
Prix de revient de quelques passages inférieurs 205
Passages supérieurs 206
Type à culées perdues..... 207
Passage supérieur de 16 mètres d'ouverture à poutres métalliques..... 210
Prix de revient de quelques passages supérieurs 210
Passages à niveau..... 211
Établissement des barrières : barrières roulantes 212
— barrières à contrepoids manœuvrées à distance..... 213
— barrières tournantes 215
Angle de croisement des chemins rencontrés par la ligne... 218
Largeur des passages à niveau 219
Traversée droite pour chemin de fer à une voie 219
— — à deux voies 220
Traversée oblique pour une voie 221
— pour deux voies..... 223
Table donnant des longueurs des passages à niveau biais... 225
Maisons de garde 225
Implantation de la maison 226
Dispositions d'ensemble d'un passage à niveau 228
Assainissement de la cave 229
Profil du chemin aux abords du passage..... 230
Passages à niveau particuliers..... 231
Prix de revient d'un passage à niveau 231
Réglementation des passages à niveau..... 232
Choix du mode de traversée..... 235
Comparaison de la dépense 238
Espacement des traversées 239
Chemins latéraux..... 240

OUVRAGES D'ART EXCEPTIONNELS

§ 1er. — GRANDS PONTS ET VIADUCS

Pages.
Viaducs en maçonnerie 242
Dépense par mètre superficiel d'élévation 242
Prix moyens de quelques viaducs..... 245
Hauteur à partir de laquelle on doit employer le viaduc.... 245
Viaducs métalliques..... 247
Poids à compter pour superstructure de ponts métalliques.. 250
Prix à adopter dans les estimations d'avant-projets de ponts métalliques 251

§ 2. — SOUTERRAINS

Conditions générales..... 251
Types : double voie 252
— voie unique..... 253
Caponnières..... 254
Méthodes d'exécution. — Méthode belge..... 254
Reprise en sous-œuvre 257
Méthode française 257
— anglaise..... 259
Durée du travail..... 260
Puits intermédiaires 260
Espacement des puits 261
Galeries transversales..... 262
Eboulements à redouter 263
Prix de revient 264
Hauteur à laquelle on doit recourir au souterrain 266
Têtes de souterrains 266
Elargissement à deux voies 267
Principaux souterrains..... 269
Souterrain du Mont-Cenis..... 269
— du Saint-Gothard 272
— d'Arlberg..... 273
Comparaison des procédés d'exécution 273

ACCIDENTS SUR LES CHANTIERS :

Boîtes de secours..... 274
Soins à donner aux ouvriers blessés avant l'arrivée du médecin..... 274
§ 1er. – Perte de connaissance. — Syncope. — Asphyxie. 275
§ 2. — Plaies..... 275

Pages

§ 3. — Hémorragie ou perte de sang..... 276
§ 4. — Crachement ou vomissement de sang..... 276
§ 5. — Luxation des membres..... 276
§ 6. — Foulures, entorses..... 276
§ 7. — Fractures..... 277
§ 8. — Fractures compliquées, membres broyés ou arrachés..... 277
§ 9. — Coup de tampon, éboulement, chute..... 277
§ 10. — Brûlures..... 278
§ 11. — Conduite à tenir envers les blessés..... 278

CLÔTURES :

Haies vives..... 279
Clôtures sèches..... 280
Prix de revient..... 280
Dispense de clôtures sur certaines lignes..... 281
Types de clôtures de la ligne P.-L.-M..... 282
Clôtures courantes (type n° 1)..... 282
Clôtures aux abords des passages à niveau (type n° 2).. 283
Clôtures des cours et des trottoirs des stations (type n° 3). 284
Clôtures des gares dans le voisinage des villes (type n° 4).. 285
Haies fruitières..... 286

DÉPENSE KILOMÉTRIQUE DE L'INFRASTRUCTURE DE DIVERSES LIGNES. 287

SUPERSTRUCTURE

CHAPITRE PREMIER

Voie

Ballast..... 294
Efforts supportés par la voie..... 296

RAILS :

Forme des rails..... 296
Profils des rails (types)..... 297
Poids des rails..... 299
Longueur des rails..... 300
Autres dimensions des rails..... 301

Pages.

Durée des rails en fer 303
Durée des rails d'acier 304
Influence du rapprochement des traverses 305
Rails usés dans les gares 305
— en pleine ligne 306
Variation du coefficient de détérioration 306
Principales causes de détérioration :
1° Température 307
2° Ballast 308
3° Vitesse des trains 310
4° Pose de la voie 310
5° Déclivités 311
6° Type des rails 313
7° Provenance 314
TRAVERSES :
Dimensions 315
Formes 316
Essence des bois 317
Procédés de conservation des traverses 318
Sulfatage 318
Créosotage 319
Prix de revient 321
Durée des traverses 322
Traverses métalliques 324
Avantages des traverses métalliques 329
ACCESSOIRES DE LA VOIE :
Coussinets 329
Coins 331
Tirefonds, crampons et chevillettes 332
Selles à talons 333
Eclisses 334
Eclisses-cornières (Nord et P.-L.-M.) 336
Eclisses L. P. (P.-L.-M.) 337
Selle-arrêt 338
Flasques d'arrêt jumelles 339
Boulons d'éclisses 340
Rondelles Grower 341

Plan de pose des voies 341
Sabotage et entaillage des traverses 342
Gabarit 341
Saboteuse mécanique 343
Profil de la voie et du ballast 345
Largeur des voies 346
Piquetage avant la pose 347

Pages.
Préparation de la plateforme 347

POSE DE LA VOIE

Ballastage 348
Diverses opérations constituant la pose 349
Equerre de pose 349
Jeu de dilatation des rails 351
Surécartement dans les courbes 352
Relevage, bourrage et dressement 353
Emploi de rails plus courts dans les courbes 356
Dévers dans les courbes 357
Raccordement du dévers 359
Pose aux passages à niveau 361
Dévers des passages à niveau biais 362
Raccordement des déclivités 362
Abords des grands ouvrages métalliques 363
Prix de revient du mètre courant de voie 363
Double champignon 364
Vignole 365
Comparaison entre le rail à double champignon et le rail Vignole 366

APPAREILS

CHANGEMENTS DE VOIE :
Changement simple 371
Aiguilles 372
Disposition du talon de changement 374
Rabotage des rails d'aiguille 376
Coude préalable du rail d'aiguille 377
Calage des aiguilles à leur extrémité 377
Levier de manœuvre des aiguilles 379
Manœuvre des aiguilles à distance 380
Changement double 381
CROISEMENT DE VOIE :
Croisement simple 383
Croisements jumeaux 383
Angles de croisement 383
Divers types de croisements 384
Tracé des raccordements ou longueur des branchements 387
Fabrication des pièces de croisement 386
Pattes de lièvre 387
Croisements doubles 387

Pages.

Types Orléans et Etat..... 388

TRAVERSES DE VOIE :

Traversée oblique ou cisaille..... 389
— droite..... 390
Communications de voie. — Diagonale..... 391
Traversée-jonction ou appareil anglais..... 392
Emploi de rails de longueurs spéciales pour le raccordement des appareils de la voie..... 393
Tracés géométriques de branchements..... 394
Tracés géométriques de branchements suivis de traversées..... 394
— de traversées..... 394
Types de branchements simples..... 395
— simple et double..... 396
Types de branchements et traversées..... 397
Types de traversées..... 398
— anglaises..... 399
Tracés géométriques de traversées anglaises simples et doubles..... 400
Tracés géométriques de communications de voies..... 400

PLAQUES TOURNANTES..... 400
Types de communications de voies..... 401
Plaques tournantes à rails discontinus..... 402
Types de plaque tournante de 4m,40 (Orléans)..... 404
Ponts tournants..... 406
Retournement par voies en triangle curviligne..... 407

CHARIOT TRANSBORDEUR..... 407
Chariot à fosse..... 408
Chariot sans fosse..... 409
Type de chariot sans fosse..... 410

HEURTOIRS..... 411
Taquets d'arrêt mobiles..... 412

ALIMENTATION EN EAUX DES MACHINES :

Grues hydrauliques..... 413

FOSSE A PIQUER LE FEU..... 414

SIGNAUX..... 415

PRIX DE REVIENT DES APPAREILS DE LA VOIE :

Voie Vignole..... 416
Voie à double champignon..... 417

CHAPITRE II

Gares et stations

Généralités. — Evaluation du trafic..... 419
Espacement des gares..... 420

Pages

Voies principales et accessoires..... 42
Installation du service des voyageurs..... 42
Définition des gares et stations..... 42
Haltes. — Stations..... 42
Types de dispositions d'ensemble de stations..... 42

DISPOSITIONS ET ACCESSOIRES DES GARES

Trottoirs..... 42
Traversées de voies des voyageurs..... 42
Bâtiments d'exploitation..... 42
Type de bâtiment de 4e classe (P.-L.-M)..... 43
— 3e — (P.-L.-M)..... 43
— 2e et 1re classes (P.-L.-M)..... 43
Dimensions des bâtiments des voyageurs..... 43
Marquises..... 43
Abris (types)..... 43
Cabinets d'aisances..... 43
— (types P.-L.-M)..... 44
Cours des voyageurs..... 44
Avenues..... 44

SERVICE DES MARCHANDISES :

Quais découverts..... 44
Quais couverts. — Halles..... 44
Types..... 44
Dispositions générales d'ensemble des gares..... 44
Bâtiments de la traction..... 45
Remises ou dépôts de machines..... 45
Prix de revient des bâtiments..... 45
Dépense kilométrique de superstructure..... 45
Prix de quelques lignes à voie unique..... 45

CHAPITRE III

Entretien et surveillance

Service d'entretien..... 45
Distinction entre les travaux à exécuter..... 45
Organisation du service d'entretien..... 460
Travaux d'entretien proprement dit..... 463
Tassements du ballast..... 464

Pages.

Renouvellement du ballast 465
Relevage des voies 465
Remplacement ou resabotage des traverses 467
Vérification des courbes (table) 469
Premier cas. — Détermination du rayon 469
Deuxième cas. — Dont on connaît le rayon 470
Remplacement des rails détériorés 471
Transport par vagonnets. — Lorrys 472
Enlèvement des neiges 473
Outillage des poseurs 473

PRESCRIPTIONS DE GRANDE VOIRIE

Murs de clôture. — Bâtiments et constructions 475
Exemption pour les constructions à plus de 2 mètres du chemin de fer 477
Construction en bordure des stations. — Avenues et dépendances 477
Ecoulement des eaux 477
Aqueducs, tuyaux de conduites d'eau, câbles souterrains 478
Plantations 478
Fouilles ou excavations 478
Carrières, sablières, mines, minières et tourbières, etc 479
Couvertures en chaume, meules de paille, foin, dépôts de matières inflammables 479
Dépôts de matériaux et matières non inflammables 480
Exceptions. — Observations 480

Tours. — Imprimerie Deslis Frères.

This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.

A fine of five cents a day is incurred by retaining it beyond the specified time.

Please return promptly.